

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT

SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

BADJI-MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI-MOKHTAR-ANNABA

Faculté des Sciences de l'Ingénierie
Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
INTITULÉ

Conception d'un moule d'injection des pièces en M.P

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIVE

PRESENTE PAR : OUACHOUACHE ABD EL KRIM

ENCADREURE DE MEMOIRE : Dr. MEKHILEF SLIMANE

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT : Pr. LAOUAR LAKHDAR

EXAMINATEURS : Dr. MEKHILEF SLIMANE

Dr. LAGRED AHMED

Dr. CHELIE AZZEDINE

Année 2018/2019

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITES SUR LES MATIÈRES PLASTIQUES

I.1. Introduction	02
I.2. Les Plastiques.....	04
I.3. Les polymères	04
I.3.1. Définition d'un polymère	04
I.3.2. Classification	05
I.3.3. Structures	05
I.3.4. Thermoplastiques	06
I.3.4.1. Polymères amorphes	06
I.3.4.2. Polymères cristallins	06
I.3.4.3. Polymères semi-cristallins	06
I.3.4.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques	07
I.3.5. Thermodurcissables	07
I.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables	08
I.3.6. Les élastomères	08
I.3.7. Les différents états des polymères.....	08
I.4. Appellation et Symboles	09
I.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés	10
I.5.1. Le Polypropylène (PP)	10
I.5.2. Polyéthylène (PE bd)	10
I.6. Coloration des matières plastiques.....	10
I.6.1. Coloration à sec.....	10
I.6.2. Coloration dans la masse.....	11
I.7 Recyclage.....	11
I.2.6. Propriétés mécaniques	11
I.3. Conclusion	12

**CHAPITRE II : PROCÉDE DE PRODUCTION PAR INJECTION
THERMOPLASTIQUE**

II.1. Introduction.....	14
II.2. Définition du procédé	14
II.3. Principe du procédé	14
II.4. Déroulement du cycle d'injection	14
II.4.1. Phases de moulage par injection	15
II.4.1.1. La phase de plastification	16
II.4.1.2. La phase de remplissage	16
II.4.1.3. La phase de compactage	17
II.4.1.4. La phase de refroidissement et d'éjection	18
II.5. Etude de la Presse à injection	19
II.5.1. Description d'une presse à injection	20
II.5.2. La structure de presse d'injection	21
II.5.3. Principe de fonctionnement	22
II.5.4. Caractéristiques des presses	23
II.6. Composants de la machine	24
II.6.1. Le bâti	24
II.6.2. L'unité de plastification/injection	24
II.6.2.1. L'unité d'injection.....	24
II.6.2.2. Pots d'injection	25
II.6.2.3. Les vis d'injection	26
II.6.2.4. Tracé de la vis	27

II.6.2.5. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis four.....	29
II.6.2.6. La buse	29
II.6.2.6.1. Calcul des buses des presses d'injection	30
II.6.3. Position du point d'injection	32
II.6.3.1. Recherche de centre de gravité	33
II.6.4. seuil	33
II.6.5. Les colliers chauffants et les barres de fixations	34
II.7. Le moule	35
II.7.1. Définition	35
II.7.2. L'unité de fermeture	37
II.7.2.1. Force de fermeture	38
II.7.2.2. Course de fermeture ou d'ouverture	38
II.7.3. Dimension des plateaux	38
II.7.3.1. Passage entre colonne	39
II.7.3.2. Fixation sur plateaux	39
II.7.3.3. Rayon de portée de la buse	39
II.7.4. Canaux d'alimentation	39
II.7.5. Events d'évacuation de l'air	42
II.7.6 L'éjection	43
II.7.8. Refroidissement des moules	44
II.7.8.1 Rôle du refroidissement	44
II.7.8.2. Principe de refroidissement	44
II.7.9. La régulation thermique des moules	45
II.7.9.1. Circulation du fluide	45
II.8. Temps de refroidissement des pièces moulées	46
II.9. Dilatation thermique	48
II.10. Capacité thermique massique.....	48
II.11. Puissance de chaleur.....	49
II.12 Les conditions de moulage	49
II.12.1 Masse de matière mise en œuvre	49
II.12.2 Pression de moulage	50
II.12.3 Chauffage des moules et régulation de température	50
II.12.4. Puissance nécessaire à la mise en température	50
II.12.5 Puissance nécessaire au maintien de la température	50
II.12.6. Polymères injectés	51
II.12.7 Régime d'écoulement:	53
II.12.8. Temps de cycle	53
II.12.9. Poids de la pièce	53
II.13. Conclusion.....	54

CHAPITRE III : CONCEPTION DU MOULE

III.1.Définition.....	58
III.1.2.Dessin de la pièce.....	60
III.1.3.Dossier technique.....	61
III.1.4.Définition la matière.....	62
III.1.a/ Polypropylène	62
III.1.b/ Propriétés physiques.....	62
III.1.c/ Applications.....	62
III.1 1.d/Avantages et inconvénients.....	63
III.1 1.e/Commerce.....	63
III.1 1.f/Additionnel Propretés :.....	65
III-1 définition de moule.....	66
A/ : Dimensions du moule :	66
B/ : Masse du moule :	66
C/ : Type de queue d'éjection :	66
D/ : Type de régulation :.....	66
E/ : Température de régulation :	67
III.2 Dessin de définition des différents éléments du moule.....	68
III-3/ dessin en coupe	69
III-3-a/coupe (A-A):.....	70
III-3.b/coupe(C-C).....	71
III.3 c .coupe (E-E).....	71
III.4.calcul thermo physique des canaux de refroidissement.....	72
III.4.1.détermination du cycle optimal de moulage.....	72
III.4.2. Détermination de la quantité moulée par heure.....	72
III.4.3. détermination de la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le polymère.....	72
III.4.4. détermination de la quantité d'eau nécessaire à posséder pour garantir le cycle	73
III.4.5. pour chaque circuit affecter la quantité de fluide.....	73
III.4.6. vérification de la vitesse du fluide.....	73
III.5.Application numérique	74
III.5.1. le temps de refroidissement.....	74
III.5.2. la quantité moulée par heur.....	74
III.5.3.la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir lepolymère.....	74
III.5.5. affectation de la quantité d'eau pour chaque circuit.....	74
III.5.6. vérification de la vitesse.....	74
Conclusion.....	79

Les tableaux

Tab. (I.1): Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications [1].....	06
Tab (I.2): Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés. [1].....	08
Tab (I.3): Avantages et Inconvénients des thermoplastiques [4].....	10
Tab (I.5): Avantages et Inconvénients des thermodurcissables [4].....	11
Tab (I.5): Appellation et Symboles des matières plastiques [6].....	12
Tab(I.6): Propriétés mécaniques et thermiques du PP [6].....	13
Tab (I.7): Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [6].....	13
Tab (I.8): Caractéristiques mécaniques [6].....	14

Les figures

Fig. (I.1) : Domaines d'application des plastiques	05
Fig. (I.2): Répartition de la production mondiale de plastique[1].....	06
Fig. (I.3): La constitution d'un polymère [3].....	07
Fig. (I,4): Structures des chaines moléculaires. [5].....	08
Fig. (I.5): Morphologie des thermoplastiques [5].....	09
Fig. (I.6): Morphologie des thermodurcissables.....	10
Fig. (I.7): États des polymères [5].....	11
Fig. (II.8): presse d'injection. [7].....	18
Fig. (II.9): Déroulement du cycle d'injection. [7].....	18
Fig. (II.10): phase de plastification [8].....	19
Fig. (II.11) : phase de remplissage. [8].....	19
Fig. (II.12) : phase de compactage. [8].....	20
Fig. (II.13) : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce [8].....	21
Fig. (II.14) : Déroulement d'un cycle d'injection [9].....	21
Fig. (II.15) : Cycle du moulage par injection. [9].....	22
Fig. (II.16): Presse à injecter les thermoplastiques. [9].....	23
Fig. (II.17) : Cylindre de plastification et moule. [3].....	24
Fig. (II.18): La structure de presse d'injection. [8].....	25
Fig. (II.19): Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification. [3].....	26
Fig. (II.18): L'unité de plastification. [8].....	27
Fig. (II.19): L'unité d'injection. [8].....	28
Fig.(II.20): pots d'injection. [9].....	29
Fig.(II.21): Vis de plastification. [9].....	30
Fig. (II.17): Schéma d'une mono vis avec trois zones.....	31
Fig. (II.18) : les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis fourreau. [10].....	32
Fig. (II.19): la buse. [10].....	33
Fig. (II.20): différents types des buses d'injection. [9].....	34
Fig. (II.21): buses d'injection.....	35
Fig. (II.22): centre de gravité de la pièce. [9].....	35
fig. (II.23): Méthode de calcul. [10].....	36
Fig. (II.24) : seuil d'injection.....	37
Fig. (II.25): Un des trois colliers chauffants spéciaux.....	38
Fig. (II.26): Présentation du moule. [9].....	39
Fig. (II.27): Groupe de fermeture à genouillères. [9].....	40
Fig. (II.29): Groupe de fermeture mixte. [9].....	

Fig. (II.30): les plateaux de mole [11].....	42
Fig. (II.31): Les différents types de canaux d'alimentation. [9].....	42
Fig. (II.32): canaux circulaire et demi-circulaire [9].....	43
fig. (II.33): Canaux Trapézoïdale. [9].....	43
Fig. (II.34): Canal principal et Canal Secondaire. [9].....	43
Fig.(II.35): Système des Canaux. [9].....	44
Fig. (II.36): Exemples de l'emplacement des canaux [9].....	45
Fig. (II.37): Events sur le plan de joint. [9].....	46
Fig. (II.38): Éjecteur en forme de soupape [13].....	47
Fig. (II.39): Circuit de refroidissement des plaques de moules.....	48
Fig. (II.40): Montage en série.....	49
Fig. (II.41): Montage en parallèle.....	49
Fig. (II 43): Temps de refroidissement dans le moulage par Injection des thermoplastiques. [7].....	50
Fig.(II.44): Allure du diagramme PVT d'un polymère Amorphe [16].....	54
Fig. II.45): Allure du diagramme PVT d'un polymère semi cristallin [16].....	54
Fig.(II.46) : Évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de taux de cisaillement pour des fluides newtoniens et non newtoniens (polymère fondu) [14].....	55
Fig.(II.47): Evolution de la pression moyenne et de la température moyenne dans le polymère au cours de l'injection. [1].....	56
fig. (III-1): le moule 3D.....	63
fig. .(III.2): partie mobile.....	65
fig. (III.3): partie fixe.....	65
fig.(III.3): vu de dessous de la moule en (A-C-E).....	66
fig.(III.4): coupe (A-A).....	67
fig.(III.5): sous en coupe (F-F).....	67
fig.(III.6): Coupe (C-C).....	68
fig.(III.7): Coupe (E-E).....	68
fig.(III.6.1) Vue de la moulée Buse plongeante dans le moule : pas de carotte. Échelle des représentations non contractuelle.....	73
fig.(III.6.1)) vue de goblote.....	73
fig.(III.6.2) représentations la pièce (goblote) non contractuelle.....	74

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail a tout ma famille et partullierement a mon père et mère, ainsi qu'a tout mes amis et en qualité de remerciements je tiens a remercier vivement Mr (Mekhalfa Slimen) mon professeur consultant pour avoir d'érige ce travail sans oublier les professeur de département mécanique et économie et sécurité de travail et enfin j a associe a ces remerciements avec qui j'ai en l occasion de travailler durant mon stage pratique de fin d'études et tous ceux qui m ont facilite l accès dans les déférant services et m ont guide dans mes recherches de renseignements que tous ces personnes trouvent ici ma parfaite considération.

Introduction générale

La révolution industrielle fut l'avènement de la fonte et de l'acier, nous vivons aujourd'hui dans un monde où les matières plastiques dominent. L'électrotechnique, l'électricité, la médecine, le bâtiment, le transport, l'agriculture, et fait un usage de plus en plus courant.

L'injection thermoplastique est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile, l'électroménager, articles de sport, santé...etc., ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Il permet de produire à grande cadence avec un faible coût, et avec une grande régularité, et de façon automatique des pièces massives et des formes complexes.

Son principe consiste à remplir le polymère thermoplastique fondu dans une cavité, appelée empreinte, à l'intérieure d'un moule. Lorsque celui-ci se refroidit, la pièce se solidifie tout en se contractant : le volume occupé par la pièce solidifiée est inférieur à celui de l'empreinte, on appelle ce phénomène le retrait. Lorsque la solidification est terminée, il y a ouverture du moule et éjection de la pièce.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITES SUR

LES MATIERES

PLASTIQUES

1/GÉNÉRALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

1. Introduction

Le qualificatif « plastique » peut s'appliquer à un grand nombre de matériaux, relativement à leur modelage et aux actions qui ont le pouvoir de donner la forme, souvent associées à des notions esthétiques, d'arts et de beauté. Il est alors très vite associé systématiquement à la « matière plastique », dont les premières synthétisées à cette époque à partir de polymères d'origine végétale, puis par polymérisation de syntones pour devenir le « plastique » de notre vocabulaire courant : « Matière synthétique constituée de macromolécules obtenues par polymérisation et qui peut être moulée ou modelée » (mais qui est souvent rigide après fabrication).

Ainsi, depuis sa première utilisation par Baekeland vers 1909, le terme plastique sert dans le langage courant à désigner cette nouvelle classe de matériaux organiques qui se caractérisent par leurs excellents rapports propriété/poids et propriétés/prix.

Avec le développement des connaissances en synthèse organique et de son industrie, en particulier de la pétrochimie, de très nombreux plastiques ont été commercialisés au cours du vingtième siècle (Tableau I.1). Leurs multiples applications (Fig. I.1) les ont rendus omniprésents et indispensables aux sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indice économique de développement (Fig. I.2) et que la demande croissante des pays émergents pose la question des ressources à l'échelle mondiale. Toujours en croissance quant à ses applications en ce début de vingt-et-unièmes siècles, et ayant donné lieu au développement de nouvelles technologies très élaborées à travers la plasturgie, aucun autre matériau n'a connu une telle expansion dans un laps de temps aussi court (moins de 100 ans). [1]

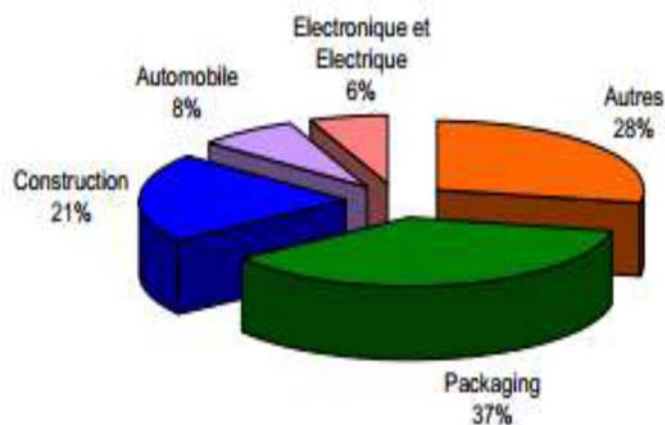


Fig. (I.1) : Domaines d'application des plastiques {1}

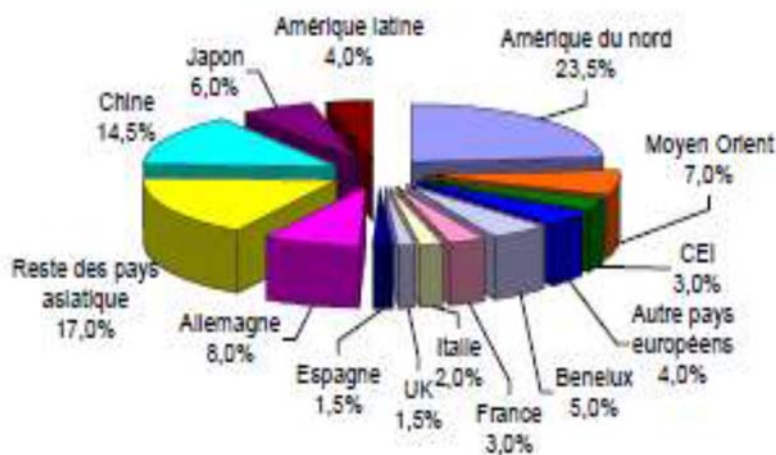


Fig. (I.2): Répartition de la production mondiale de plastique. [1]

Polymères	Date de première production	Applications
PS	1933 : mise en production en Allemagne par le docteur Wolff	Isolant pour poste TSF, stylos, capsules pour tubes, éléments de masques à gaz...
PE	1939 : première usine en Allemagne, production de quelques centaines de tonnes par an.	Isolation des câbles à haute fréquence des radars. En 1944 premier tube pour canalisation d'eau en Grande Bretagne.
PVC	1935 : première production à Ludwigshafen (Allemagne)	Isolation des câbles aux Etats-Unis
PP	1956 : Hoechst met en service le premier pilote de production du PP en Allemagne	En 1962 il est utilisé comme ficelle et film agricole en France. En 1963 production des premières pièces injectées (bouchons, peignés,...)
PUR	1940 : mise en production en Allemagne.	Isolation des sous marins et avions de combats.

Tab. (I.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications [1]

I.2. Les Plastiques:

En réalité, un plastique est un mélange assez complexe pouvant contenir jusqu'à plus d'une dizaine de constituants. Le plus important d'entre eux est le polymère qui donne au plastique ses propriétés physicochimiques et son appellation. La formulation d'un polymère est l'action de lui ajouter des additifs, en quantité plus ou moins grande, pour de multiples raisons telles que :

- ✓ protéger le polymère lors de sa mise en œuvre (par exemple avec un antioxydant),
- ✓ aider à sa mise en œuvre par modification des caractéristiques rhéologiques du mélange à l'état visqueux (par exemple avec un plastifiant, ou un lubrifiant),
- ✓ conférer au produit fini certaines propriétés spécifiques (par exemple avec un principe actif, un agent de conduction, etc.).[1]

I.3. Les polymères:

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physicochimiques. [1]

I.3.1. Définition d'un polymère

Un polymère est une *macromolécule*, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec môns: un seul ou une seule, et mérôus : partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Dans la macromolécule suivanteA-A-A-A-A-A-A..... = $[-A-]$ l'unité constitutive est A; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répètent. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « fils longs et souples ». Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule $[-A-]$ s'appellent polymérisation. Ainsi, l'éthylène $CH_2=CH_2$ (monomère) conduit par polymérisation par ouverture de la double liaison au polyéthylène (polymère). $[-CH_2 - CH_2-]_n$.

La macromolécule peut comporter jusqu'à 50 000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux la masse molaire peut atteindre 1 000 000 g.mol. Certaines macromolécules deviennent ainsi visibles à l'œil nu (matériaux réticulés par exemple). La synthèse d'un polymère peut être assimilée à un jeu de construction dans lequel on dispose de pièces élémentaires mono, di fonctionnelles ou de fonctionnalité strictement supérieure à 2. On appelle fonctionnalité le nombre de liaisons que la pièce est capable d'établir avec une autre pièce. Quand les motifs associés sont identiques, on parle d'homopolymère. Sinon, ce sont des copolymères : bi polymères, ter-polymères sont les plus communs. [2]

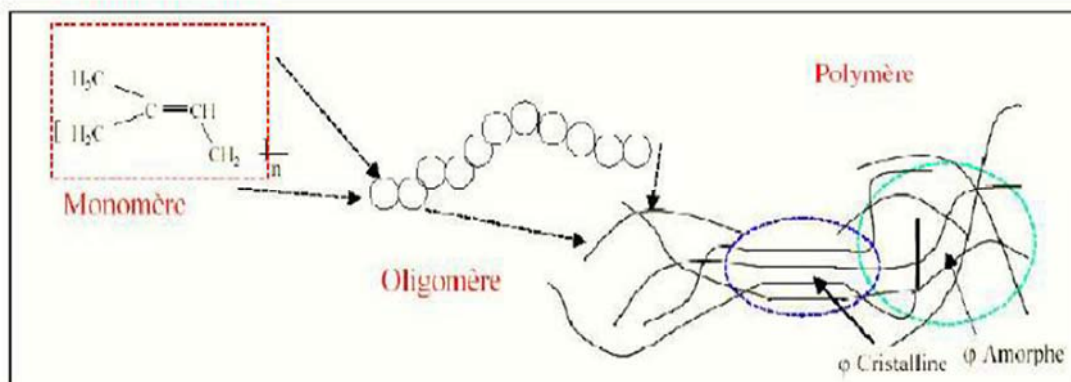


Fig. (I.3): La constitution d'un polymère [3]

Monomère	Polymère	Nom IUPAC	Nom courant	Abréviation
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	$\left(\text{---CH}_2\text{---CH}_2 \right)_n$	polyméthylène	polyéthylène	PE
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$	$\left(\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)_n$	poly(1-méthyléthylène)	polypropylène	PP
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$	$\left(\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right)_n$	polychloroéthylène	Polychlorure de vinyle	PVC
$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$	$\left(\text{---CH}_2\text{---}\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right)_n$	poly(1-phényléthylène)	polystyrène	PS

Tab (I.2): Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés. [1]

I. 3.2. Classification:

Les polymères sont constitués de la répétition d'un grand nombre de motifs élémentaires : les unités monomères. Dans le cas où les macromolécules ne contiennent qu'un type de monomères, il s'agit d'un homopolymère. Si les unités constitutives sont nombreuses, on parle alors de copolymère.

il existe plusieurs types de copolymères :

- les copolymères alternés (chaîne A-B-A-B-A-....)
- les copolymères séquencés (chaîne A-A-A-B-B-B-....)
- les copolymères statistiques (chaîne A-B-B-A-B-A-B-A-A-....). [4]

I.3.3. Structures:

La structure du polymère représente la façon dont les longues chaînes moléculaires de base sont reliées entre elles pour former le matériau. La disposition des chaînes entre elles ainsi que la densité des points de liaison vont modifier profondément les caractéristiques macroscopiques du polymère.

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires, présentées dans la (fig. I.4)

- 1- linéaire :** La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne ;
- 2- branchée :** Une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en général plus petites ;
- 3- en réseau :** Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau

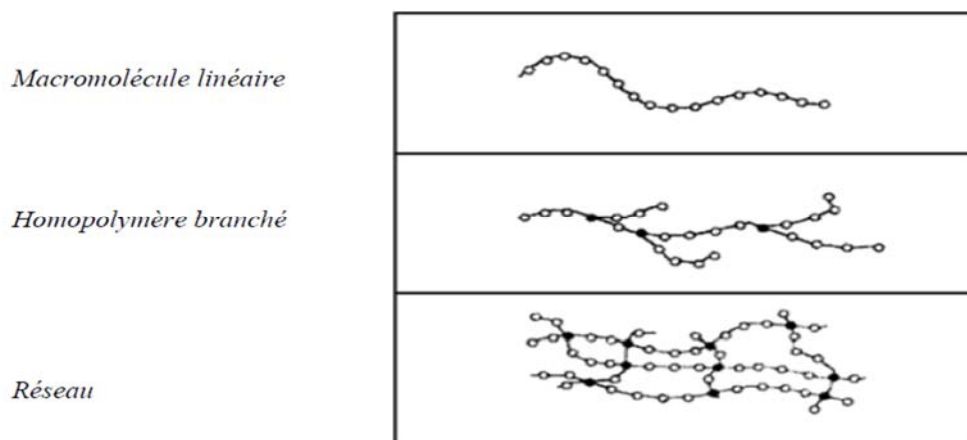


Fig. (I.4) : Structures des chaînes moléculaires. [5]

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en deux grandes catégories : Les thermoplastiques et les thermodurcissables

I.3.4. Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires.

Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles : les *amorphes*, *cristallins* et les *semi-cristallins*. Cette *morphologie* (fig. I.5) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques [5].

I.3.4.1. Polymères amorphes:

Dans un polymère amorphe, les chaînes se présentent sous la forme de pelotes statistiques (fig. I.5). Les chaînes sont enchevêtrées et on note l'absence de structure ordonnée. Quand on chauffe un polymère amorphe, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, il n'y a donc pas de température de fusion. En effet, la structure des chaînes de macromolécule en pelote compacte et désordonnée empêche une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, une brusque variation de mobilité moléculaire est observée à une température appelée température de transition vitreuse notée T_g . [5]

I.3.4.2. Polymères cristallins

Un polymère purement cristallin, quand à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée T_m . Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline. [5]

I.3.4.3. Polymères semi-cristallins

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe ou les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (fig. I.5). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie). On a donc toujours $T_g < T_f$.

Les polymères semi-cristallins peuvent être caractérisés par leur taux de cristallinité ce qui représente la fraction massique ou molaire d'unités structurales cristallisées par rapport à la totalité des unités présentes. [5]

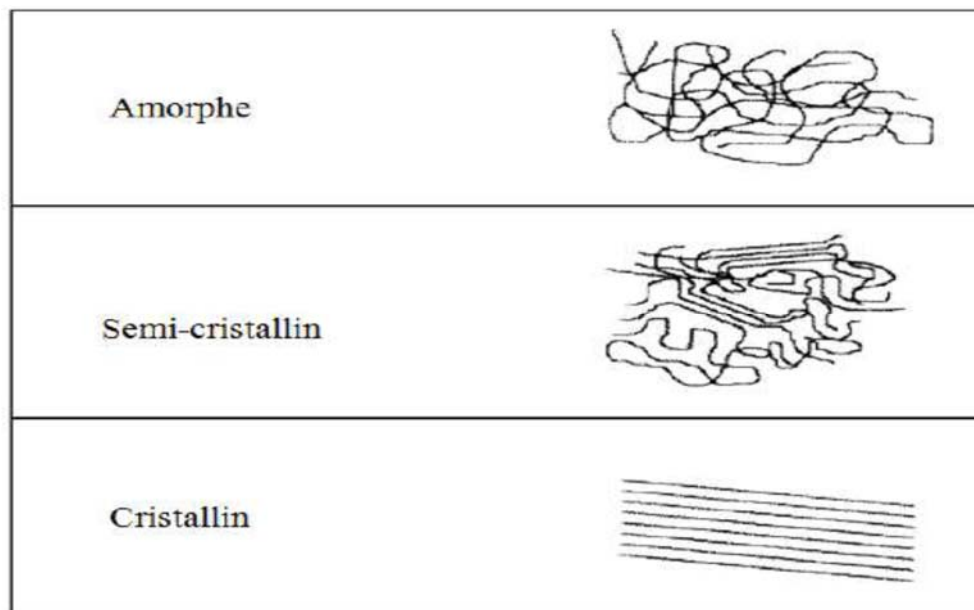


Fig. (I.5) : Morphologie des thermoplastiques [5]

I.3.4.5. Avantages et désavantages des thermoplastiques:

Le tableau (II.3) montre les avantages et les inconvénients des thermoplastiques

Avantages		Inconvénients
- Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps) - Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau) - Facile à réparer (par soudure ou collage) - Post-formable		- Forte viscosité du fondu - Fluage
Amorphe	Cristallin	
- Bonne résistance aux impacts - module plus élevé	- Moindre retrait au refroidissement - plus grande dureté	

Tableau (I.3): Avantages et Inconvénients des thermoplastiques [4]

I.3.5. Thermodurcissables:

Les thermodurcissables ou thermodurcis ont une structure en réseau tridimensionnel, ce qui rend leur fusion impossible. La rigidité ainsi que la stabilité thermique du polymère est liée au taux de réticulation, c'est à dire à la densité de points de liaison entre les chaînes macromoléculaires.

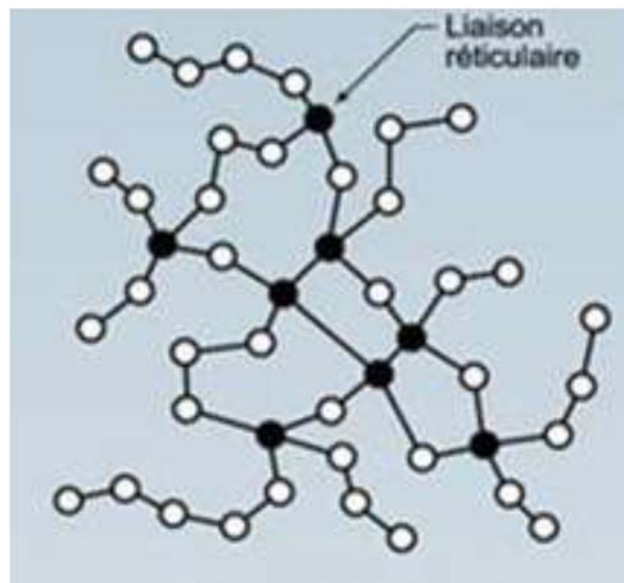


Fig. (I.6) : Morphologie des thermodurcissables

I.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables:

Le tableau (I.5) montre les avantages et les inconvénients des thermodurcissables

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Faibles viscosité de la résine - Bon mouillage des fibres - Bon stabilité thermique après polymérisation - Résistance aux agressions chimiques - Peu sensible au fluage 	<ul style="list-style-type: none"> - Cassant - Non recyclable par techniques standard - Non pas formable

Tab (I.5) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables [4]

I.3.6. Les élastomères :

Les élastomères sont des solides souples et gonflables formés de chaînes peu compactées et (à température ambiante) très mobiles (matériau caoutchouteux)

I.3.7. Les différents états des polymères :

En fonction de la température, un polymère peut se présenter dans trois états différents qui correspondent à un accroissement des volumes libres intermoléculaires avec la température et une diminution des forces de liaisons.

On peut repérer ces états en suivant le graphe de la masse volumique ou du module d'élasticité E en fonction de la température. La température ambiante pouvant se trouver dans l'une des trois zones selon le polymère considéré [5]

➤ l'état vitreux (A)

Les verres organiques n'admettent que de très faibles déformations.

➤ l'état de transition (B)

On rencontre les polymères linéaires thermoplastiques et les polymères réticulés dont la décomposition chimique se produit avant la fusion.

➤ l'état caoutchouteux (C)

Les élastomères sont formés de très longues molécules reliées entre elles par des points de jonction relativement rares.

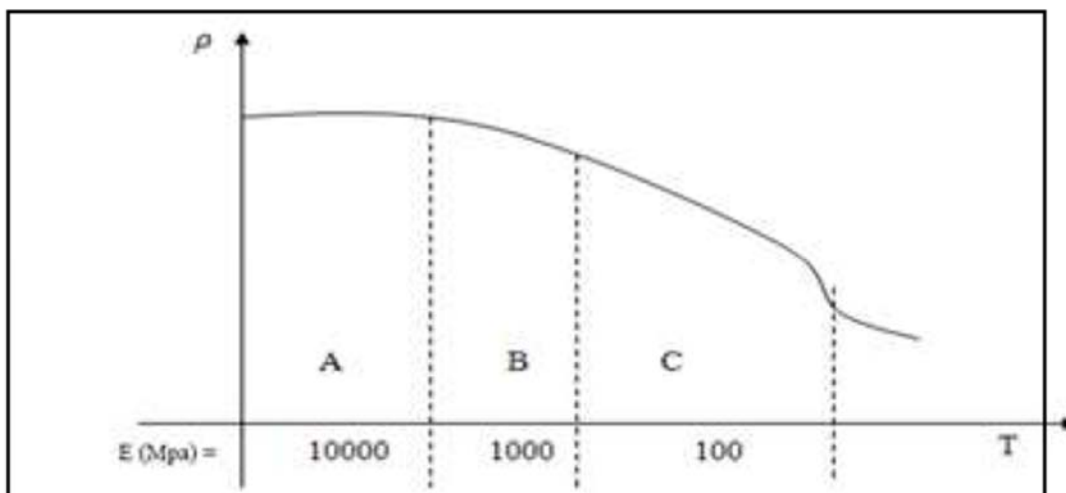


Fig. (I.7) : États des polymères [5]

II.4. Appellation et Symboles :

La chimie des matières plastiques ainsi que sa technologie ont fait apparaître une série d'appellation spécifique dont l'utilisation orale n'est pas facile

Ces appellations sont souvent remplacées par des symboles utilisés par l'ensemble des outilleurs et des plasturgistes. [6]

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène	PP	Poly Propylène
APV	Alcool Polyvinylique	PPE	Copolymère de polypropylène d'éthylène
BMC	Bull Mol ding Compound	PPO	Poly oxyde de phényle
CA	Acétate de Cellulose	PPS	Polysulfure de phényle
CAB	Acétobutyrate de Cellulose	PRC	PE hd réticule
CFE	Chlorofluréthylène	PS	Polystyrène
DAC	Diallèle Carbonate	PSC	Polystyrène choc
DAP	Diallèle phtalate	PSF	Polysulfone
EP	Epoxyde	PU	Polyuréthane
EPF	Polyéthylène propylène fluoré	PVB	Butyral de polyvinyle
EPDM	Ethylène propylène diane Monomère	PVC	Polychlorure de vinyle
EPM	Ethylène propylène monomère	RIM	Réaction injection molding
PA	Polyamide	SI	Silicone
PAN	Polyacrylonitrile	TD	Thermodurcissable
PBT	Poly butylène téréphtalate	TEP	Textile enduit plastique
PEE	Polyéthylène Exposé	TP	Thermoplastique
PES	Poly ethersulfone		
PET	Polyéthylène téréphtate		
PF	Phénol – Formol		
PFE	Poly fluoré éthylène		
PI	Poly imide		

Tab (I.5) : Appellation et Symboles des matières plastiques [6]

I.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés

I.5.1. Le Polypropylène (PP)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PP)		
POLYPROPYLENE (PP)	<p>Origine : Propylène</p> <p>Structure : Cristalline</p> <p>Retrait : 1 à 2.8 %</p> <p>Densité : 0.9</p> <p>Mise en œuvre : injection, Extrusion, estampage, thermoformage.</p> <p>Températures :</p> <ul style="list-style-type: none"> -de moulage : 210 à 300 °C -du moule : 20 à 90 °C -de fusion : 64 °C -d'Utilisation : 0 à 120 °C 	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bonne résistance à la flexion. -Bonne propriétés électriques. -Bonne Résistance mécanique. -Bonne résistance aux produits chimiques <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> -inserts métalliques à basse de cuivre déconseillés. -Fragile à basse température. -retrait non homogène

Tab(I.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP [6]

I.5.2. Le Polyéthylène (PE bd) :

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PE bd)		
POLYETHYLENE (PE bd)	<p>Origine : Ethylène</p> <p>Structure : Cristalline</p> <p>Retrait : 1.3 à 2.8 %</p> <p>Densité : 0.92</p> <p>Mise en œuvre : injection Extrusion, roto moulage, thermoformage.</p> <p>Températures :</p> <ul style="list-style-type: none"> -de moulage : 160 à 300 °C -du moule : 20 à 60 °C -de Fusion : 135 C° -d'utilisation : -80 à 110 °C 	<p>Avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - meilleurs caractéristiques que PE bd. - Rigidité surfaces brillantes - Résistance à la température et à l'eau bouillante <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retrait non homogène - Densité plus élevée que polyéthylène basse densité. - Prix plus élevé. - Décoration difficile

Tab (I.7) : Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [6]

II.6. Coloration des matières plastiques :

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandé par le client.

Les résines issues des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle. Les résines naturelles foncées sont en (noir, rouge, bleu).

Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange). Colorants 11 existe deux types de colorant. [6]

I.6.1. Colorant à sec:

Les granulés vierges sont mélangés dans le tambour avec le colorant choisi. Un lubrifiant peut être ajouté pour faciliter l'écoulement de la matière dans le moule.

I.6.2. Colorants dans la masse:

Les granulés sont colorés à sec et pour réaliser une bonne dispersion de la couleur, ils sont extrudés en filament, puis broyés par granulation.

I.7. Recyclage :

Certaines fabrications de produits dont le recyclage est envisagé ; sont traitées avec des colorants fluorescents pour une identification ultérieure (parc, chocs, tableaux de bord). Les déchets de fabrication ainsi que les pièces usées peuvent être rebroyées pour être mélangées avec un pourcentage de 10 à 15%

I.8. Propriétés mécaniques :

Les matières plastiques ont une structure interne différente à des métaux et des alliages ; leur comportement sous l'action des efforts est donc différent. En fonction des utilisations envisagées ; il est nécessaire de mouler des éprouvettes et de réaliser des essais (Essai de traction, Essai de flexion, Essai de chocs... etc.) afin de déterminer des contraintes maximales admissibles [6]

Matières	Essai de traction		Essai de flexion
	Résistance Mpa)	Allongement A%	Contrainte pour F max (Mpa)
Polyester et tissu de verre	35	05	5 - 35 suivant °C
Plexiglas	4.9	03	8 - 12 suivant °C
Polyéthylène	3.9	65 – 105	4 - 15 suivant °C
Polyéthylène	3.5 – 6.3	2 – 40	10 - 25 suivant °C

Tab (I.8) : Caractéristiques mécaniques [6]

I.9. Conclusion :

Actuellement, le plastique est devenu l'un des matériaux les plus importants dans le domaine de la plasturgie et de manière significative dans tous les domaines, car il contient les propriétés physiques et mécaniques.

CHAPITRE II :
PROCEDE DE PRODUCTION
PAR INJECTION
THERMOPLASTIQUE

CHAPITRE II : PROCÉDE DE PRODUCTION PAR INJECTION THERMOPLASTIQUE

II.1. Introduction :

Dans la fabrication des pièces mécaniques il existe plusieurs procédés d'usinage, parmi ce procédé on a l'injection thermoplastique.

L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères avec l'extrusion et le soufflage (30% des polymères transformés). Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces. [7]

De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformé une matière de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.

L'objectif de ce chapitre est présenter le procédé d'injection des thermoplastiques, et leur déroulement de cycle d'injection plus les caractéristiques d'une presse et la construction de structure. Et la façon dont nous de contrôle dans les paramètres de procédés d'injection.

II.2. Définition du procédé :

Le procédé d'injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu'à quelques millimètres d'épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager ou l'électricité. [7]

II.3. Principe du procédé :

L'injection permet de fabriquer des pièces de géométrie complexe en grande série, suivant un principe simple de fonctionnement.

En effet, le polymère thermoplastique est chauffé afin de lui donner de cohésion d'un liquide visqueux. Ce liquide est ensuite injecté dans un moule, réalisé en plusieurs parties. Le polymère se refroidit jusqu'à l'état solide à la suite de quoi la pièce est extraite après ouverture de l'outillage.

Une nouvelle injection est réalisée quand l'outillage est à nouveau fermé. [7]

II.4. Déroulement du cycle d'injection :

La presse d'injection constituée à deux parties important dans le cycle d'injection :

- Partie de vis d'injection est leur comportement
- Partie de moule

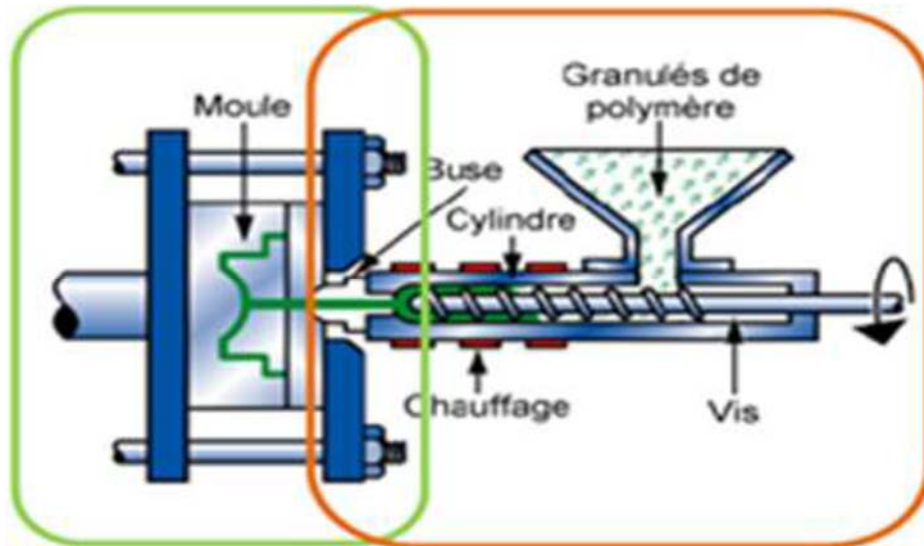


Fig. (II.1) : presse d'injection. [7]

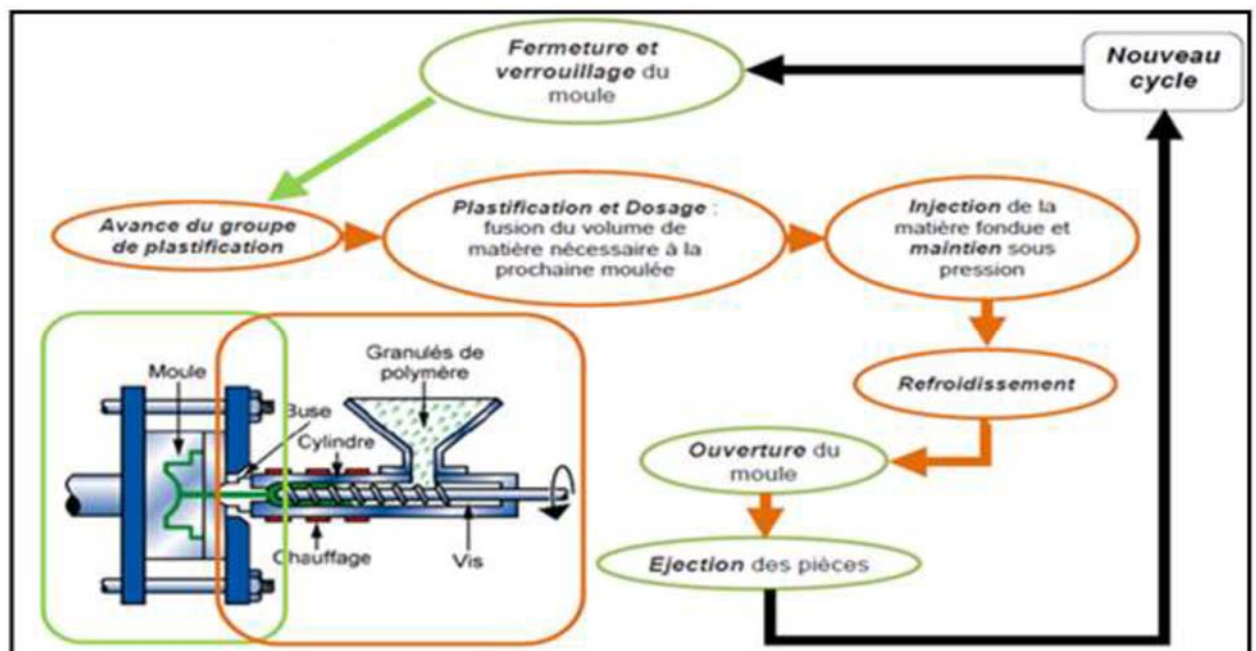


Fig. (II.2) : Déroulement du cycle d'injection. [7]

II.4.1. Phases de moulage par injection :

Le procédé de moulage par injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées. Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales:

II.4.1.1. La phase de plastification:

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état initial (Sous forme de granulé) à l'état fondu. On peut dire que cette transformation commence au début par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule. Le dosage est contrôlé par la course de la vis qui recule, en s'appuyant sur la matière, pendant sa rotation. La matière plastifiée est transportée dans l'espace à l'avant de la vis (Fig. II.3). [8]

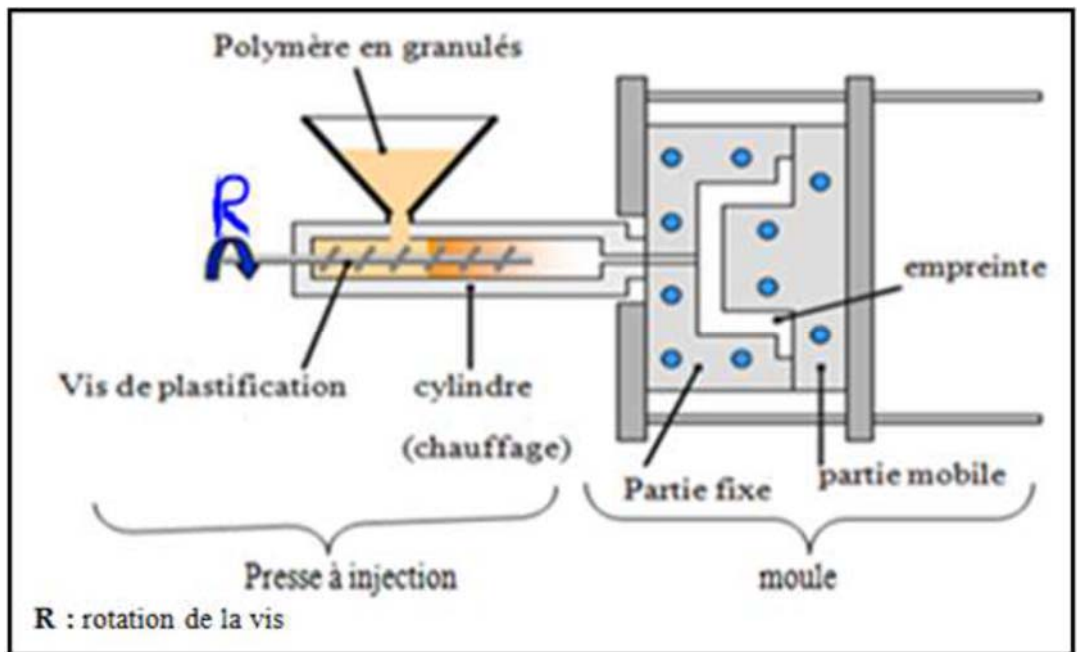


Fig. (II.3) : phase de plastification [8]

II.4.1.2. La phase de remplissage:

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage (Fig.II.4). L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement.

Le débit d'injection est fonction du volume de remplissage sur la durée de remplissage correspondant à l'épaisseur de la pièce. [8]

$$Q = V_{rt} / \text{Durée de remplissage} = [\text{cm}^3] / [\text{s}] \dots\dots\dots [\text{L}] / [\text{s}] \dots\dots\dots \{ \text{II.1} \}$$

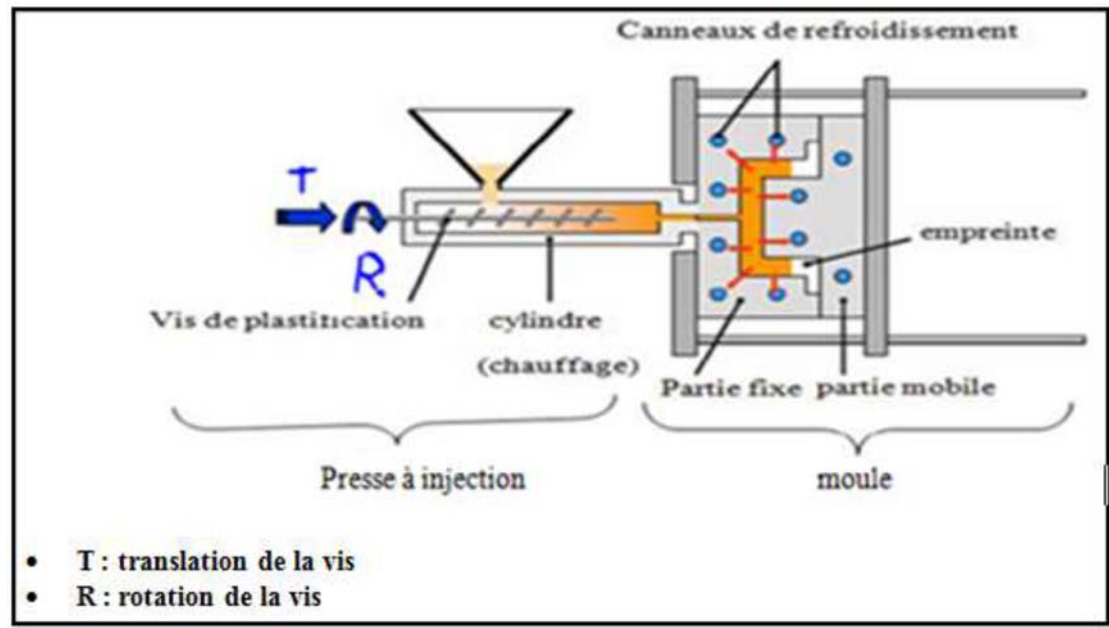


Fig. (II.4) : phase de remplissage. [8]

II.4.1.3. La phase de compactage :

Le compactage est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression.

En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Fig. II.5).

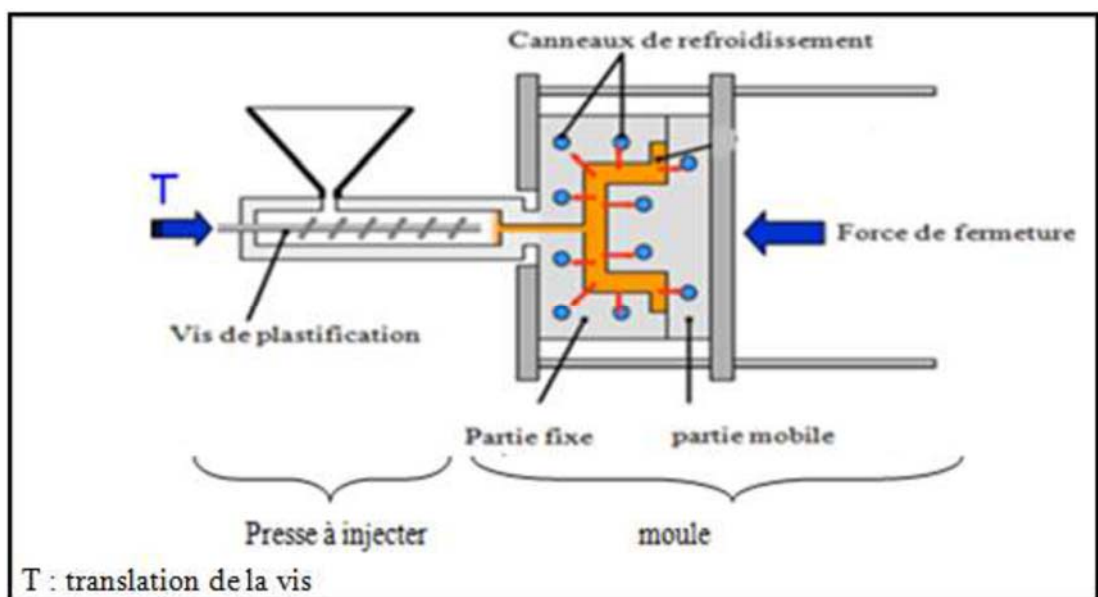


Fig. (II.5) : phase de compactage. [8]

II.4.1.4. La phase de refroidissement et d'éjection :

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdure jusqu'à ce que le polymère atteigne sa température de démoulage (Fig. II.6), après le refroidissement l'éjecteur pousser la pièce. [5]

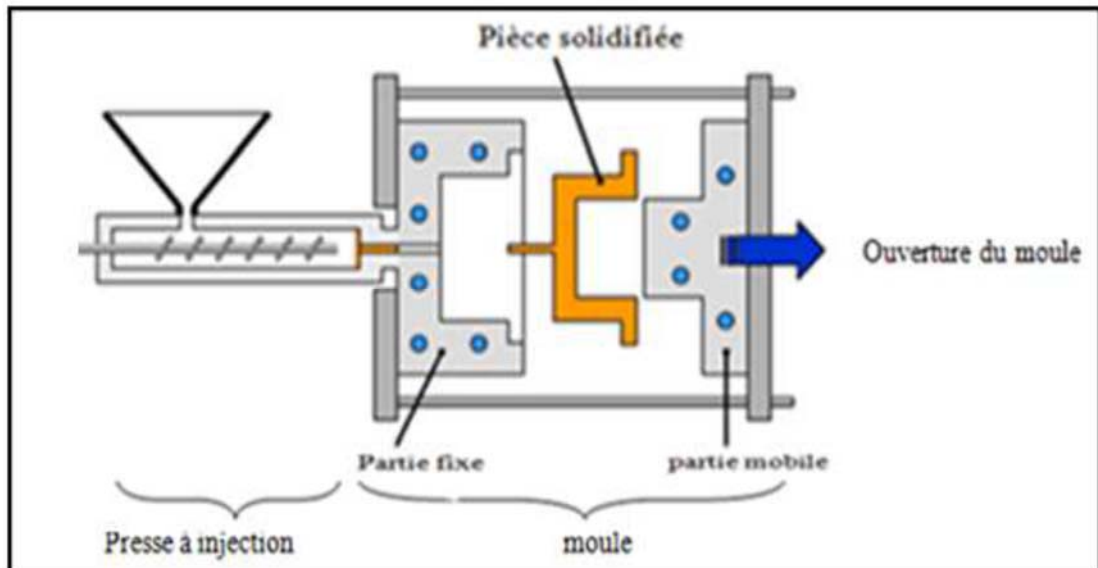


Fig. (II.6) : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce [8]

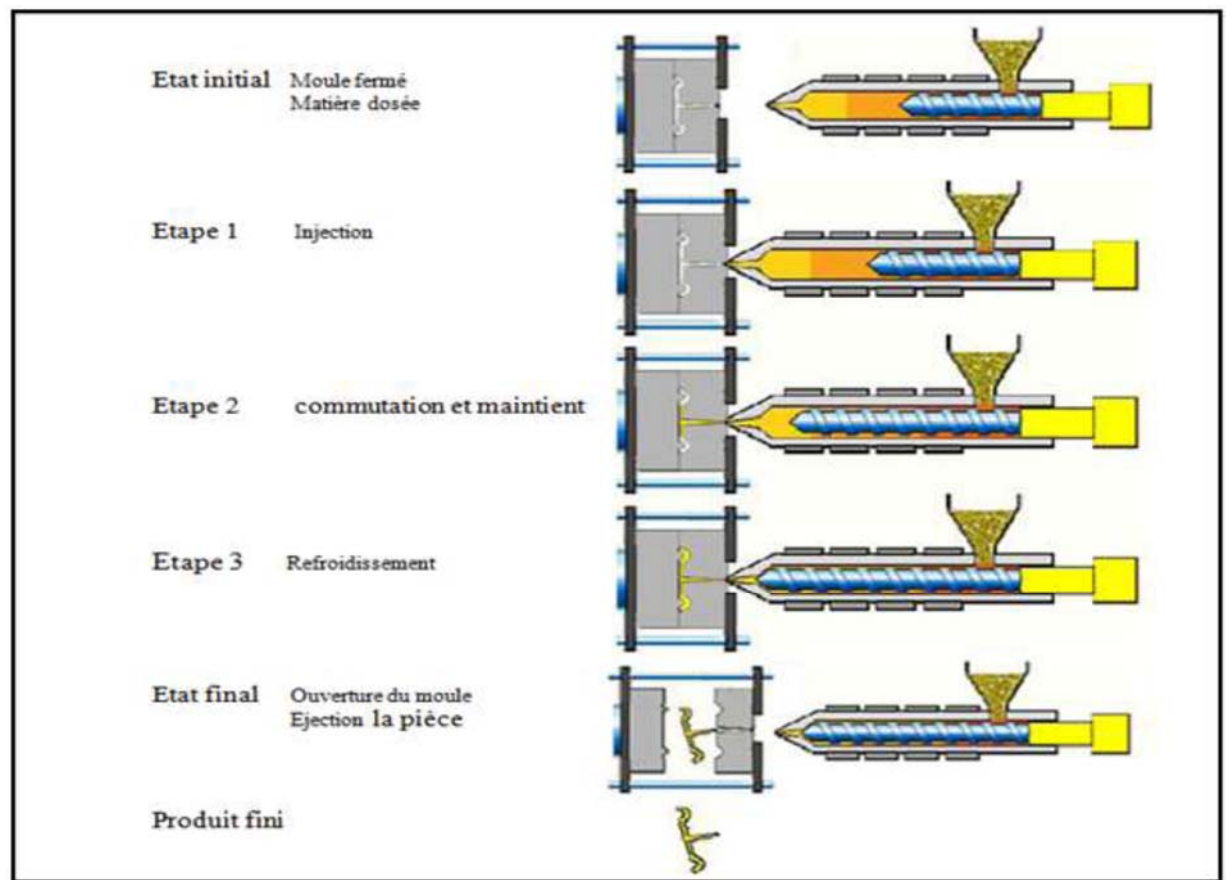


Fig. (II.7) : Déroulement d'un cycle d'injection [9]

Le cycle de moulage déroule de la façon suivante :

- Fermeture du moule.
- Dégazage et suppression de la pression de la vis piston.
- Fermeture finale et complément d'injection, éventuellement.
- Maintien en pression.
- Recul du groupe de plastification et mise en rotation de la vis pour le préchauffage de la dose suivante, durant cette, le moule s'ouvre et la pièce fabriquée est éjectée.

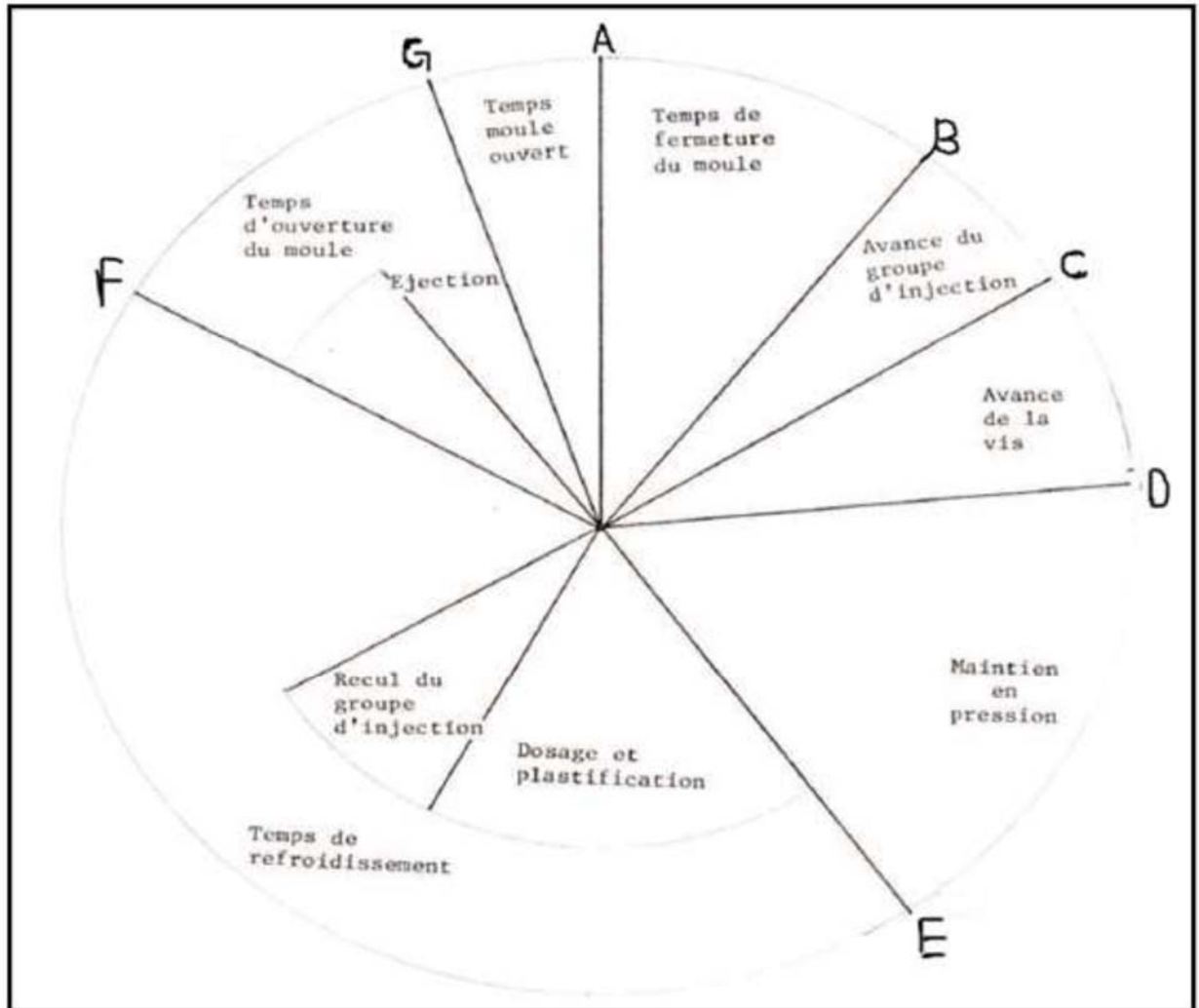


Fig. (II.8) : Cycle du moulage par injection. [9]

II.5. Etude de la Presse à injection :

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. La matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule.

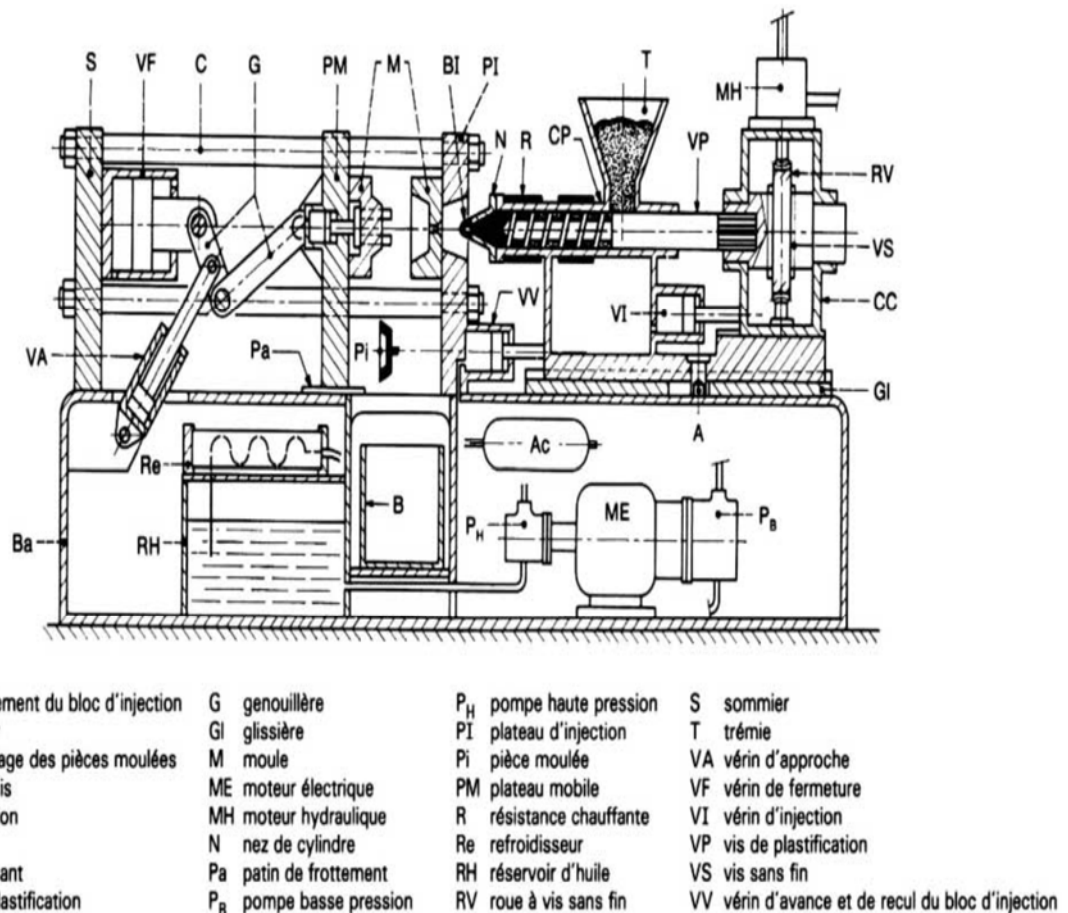


Fig. (II.9): Presse à injecter les thermoplastiques. [9]

II.5.1. Description d'une presse a injection :

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture) (Fig.II.10). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.

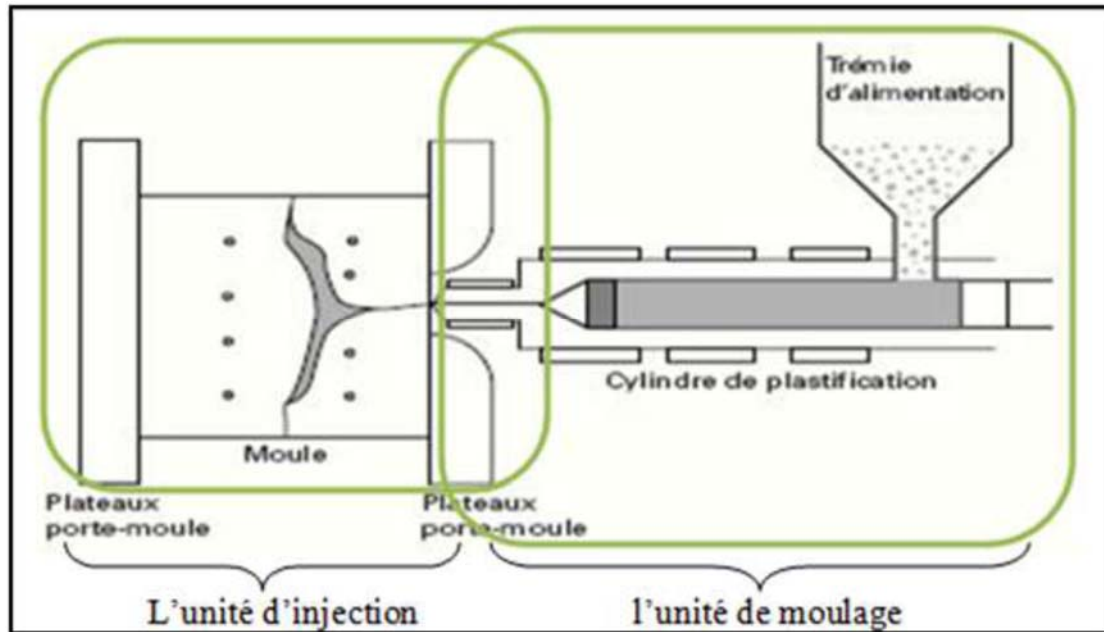


Fig. (II .10) : Cylindre de plastification et moule. [3]

II.5.2. La structure de presse d'injection:

Une machine d'injection fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. transforme les granules solides en polymère fondue pour l'injecter en unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. la (fig. II.11) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est régulé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [8]

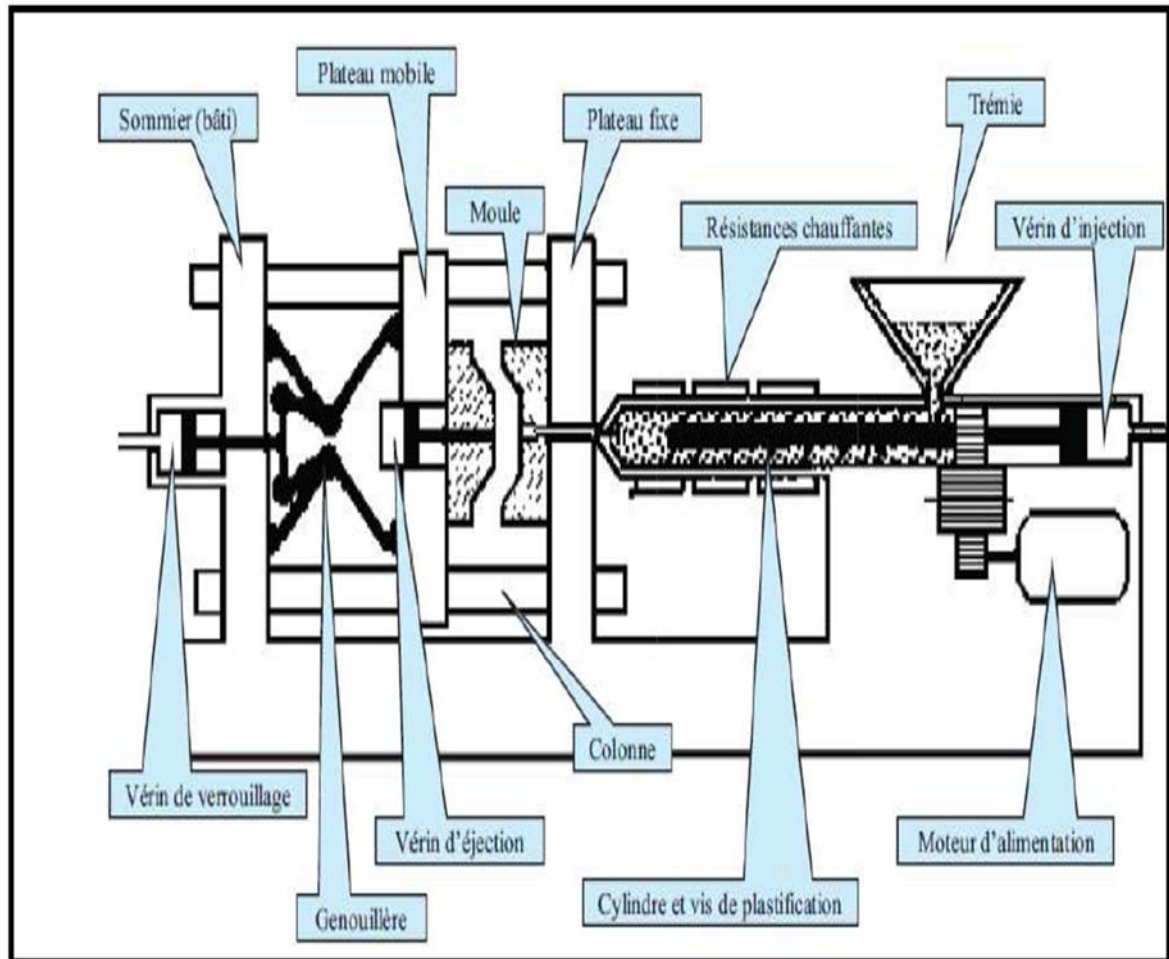


Fig. (II.11): La structure de presse d'injection. [8]

II.5.3. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une presse d'injection est le suivant : Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire le mélange des granules de polymère, qui ont été chauffés par les colliers chauffants et de convoier la matière à l'entrée de l'unité de fermeture.

Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement réglé à une température proche de la température ambiante, va permettre de figer le plus rapidement possible le polymère. C'est ce qui se passe lorsque l'on transforme des thermoplastiques. Pour les polymères thermodurcissables ou des élastomères, en général, le mélange est tiède et injecté dans un moule chaud permettant l'initiation de la polymérisation [3]

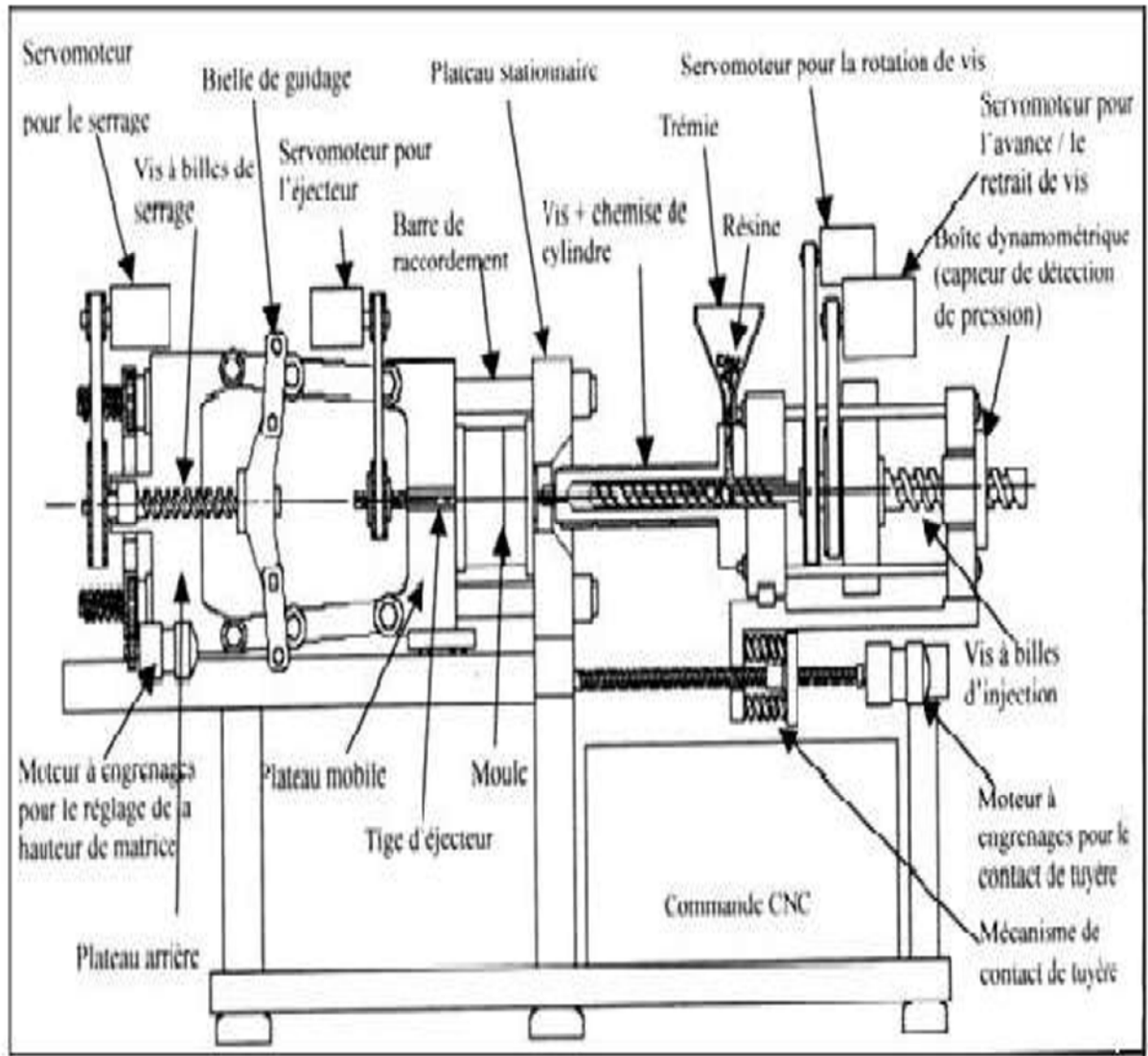


Fig. (II.12): Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification. [3]

II.5.4. Caractéristiques des presses :

Une machine d'injection (moulage) se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polymère ou en volume (cm^3). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximale du moule que peut maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer : par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule. [3]

II.6.Composants de la machine:

II.6.1. Le bâti :

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires, moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, toutes les électrovannes et les distributeurs. La forme et la position du bâti, on distingue trois types de presse: Presse horizontale, Presse verticale, Presse universelle [8]

II.6.2. L'unité de plastification/injection:

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer et avec le moule. Ses rôles sont de ramollir la matière plastique de l'homogénéiser de la doser et de l'injecter dans le moule [8]

1 – Granulés, 2 – Vérin d'injection, 3– Moteur de d'alimentation, 4 – Vis sans fin, 5 – Foureau chauffant, 6 – Buse d'injection, 7 – Clapet, 8 – Trémie

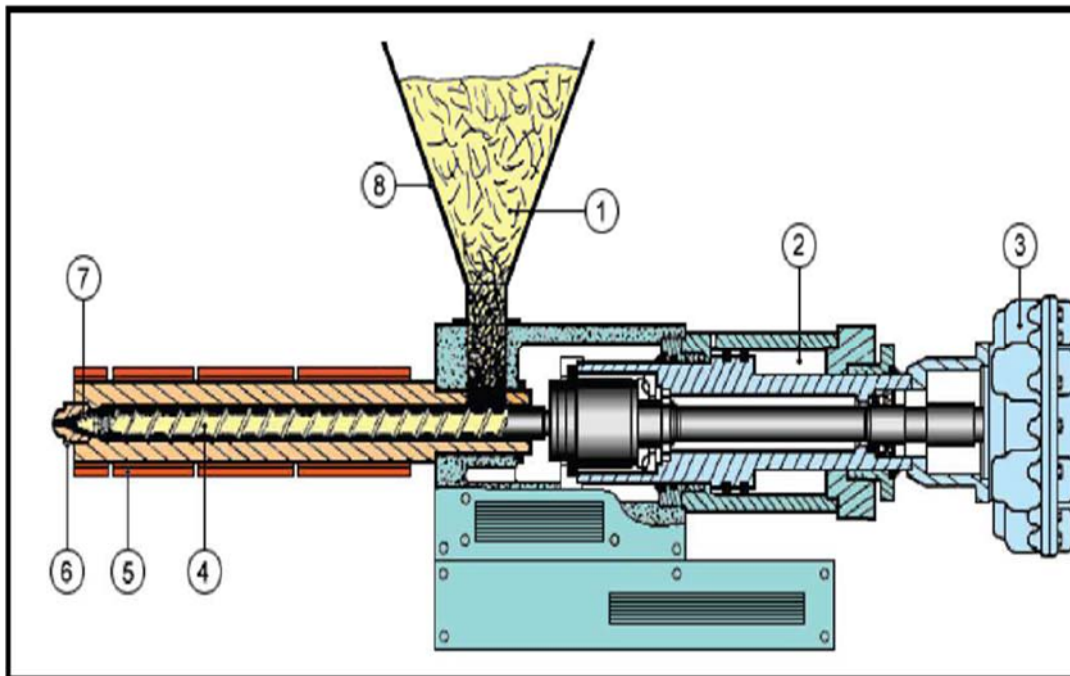


Fig. (II.13) L'unité de plastification. [8]

II.6.2.1. L'unité d'injection:

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis, la buse, ... l'unité est montée sur une glissière à colonnes pour un guidage précis, robuste et avec peu d'entretien. L'ensemble de la glissière est déplacé à l'aide de deux vérins produisant l'effort de contact buse/moule . [8]

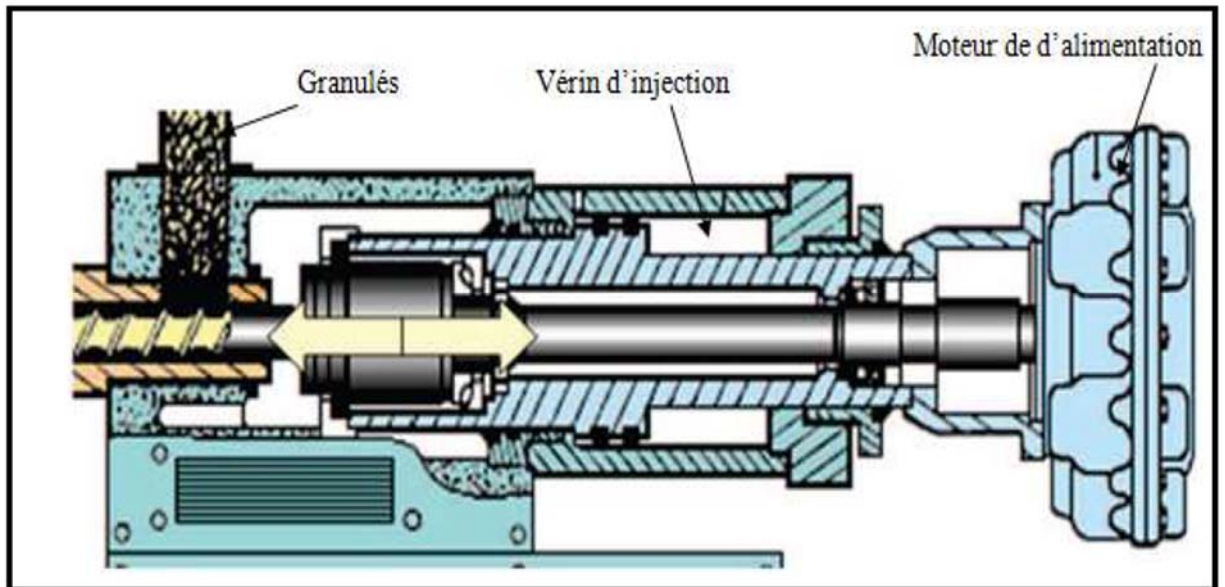


Fig. (II.14) : L'unité d'injection. [8]

II.6.2.2 Pots d'injection :

Les presses à pot d'injection ont presque totalement disparu, sauf dans le cas des très faibles capacités d'injection (quelques grammes à 20 g), et elles sont alors très simplifiées, le dispositif de plastification se limitant à un cylindre chauffé, équipé d'un piston de refoulement.

Le pot d'injection avait comme rôle essentiel de diviser les masses de granulés à plastifier, pour accélérer leur mise en température. En outre leur conception devait éviter les formes donnant des angles morts, favorisant la stagnation de la matière, celle-ci étant susceptible de se décomposer à la longue, et de se détacher des parois pour venir altérer l'aspect de surface des objets moulés. Il fallait rechercher un chauffage rapide ; le démontage devait être aisé en vue de faciliter le nettoyage ; les pertes de charge devaient rester acceptables, mais étaient inévitablement importantes (50 à 70 % de la pression en bout de piston d'injection ou pression d'injection). [9]

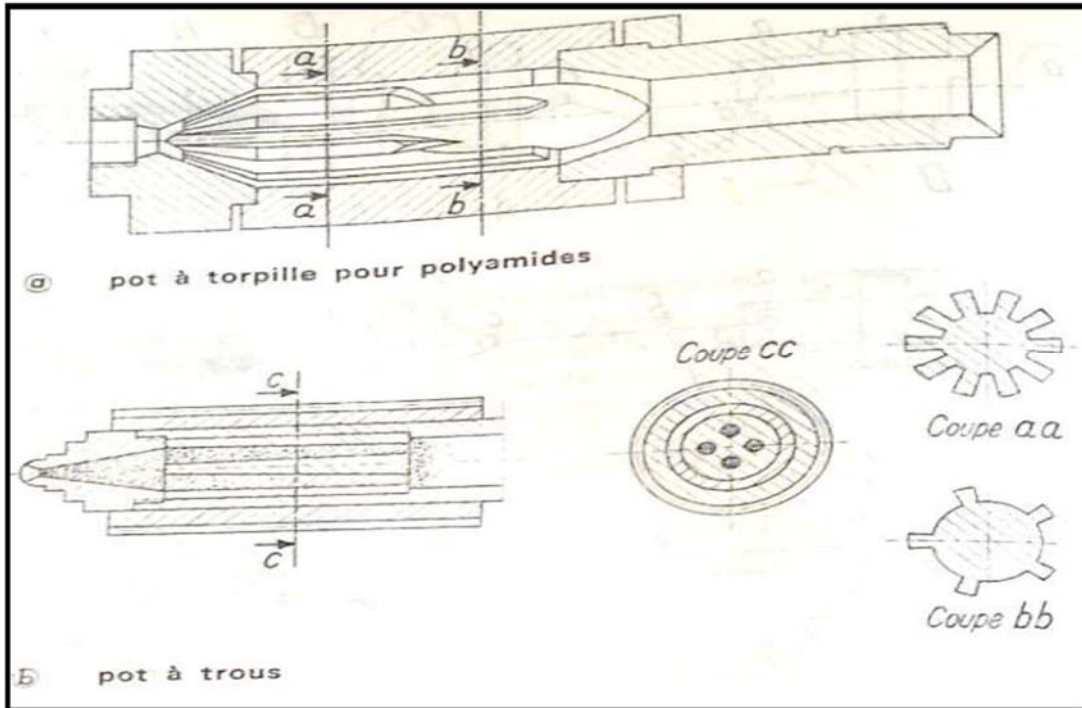


Fig. (II.15): pots d'injection. [9]

II.6.2.3. Les vis d'injection

Pour obtenir un rendement optimal, il serait souhaitable d'étudier la forme de la vis en fonction de chaque matière moulée (II.16. a, b) Pour des raisons économiques la tendance est à la fabrication de vis plus ou moins universelles.

Une vis de plastification doit :

Opérer la translation de plastique depuis la trémie jusqu'à l'extrémité du cylindre de plastification. Participer à la plastification et la faciliter, par un malaxage combiné avec une mise sous pression de la matière fondue en bout de cylindre, ceci ayant pour effet de provoquer le recul de la vis au fur et à mesure de l'accumulation de plastique fondu à l'avant du cylindre .

La matière plastique arrivant sur la vis possède, une densité apparente de 0,4 à 0,6 mais parvient en bout de vis à la densité normale correspondant à un état compact et fondu. La vis doit donc présenter une section de passage du polymère fondu de plus en plus réduit, au fur et à mesure de la progression de la plastification, afin d'éviter l'apparition de vides au sein de la matière. [9]

Le taux de compression est une caractéristique importante d'une vis et correspond au quotient de la section de passage utile en zone d'arrivée des granules par la section de passage utile en extrémité de vis ; il représente approximativement la variation de volume de la matière moulée.

La translation vers l'avant de celle-ci est assurée si son coefficient de frottement au contact du cylindre est supérieur à son coefficient de frottement au contact de la vis. Dans le cas contraire la vis entrainerait le plastique en rotation, par adhérence, sans le transférer vers l'avant. Le résultat est acquis si la température de la vis est assez faible ; cela n'exige cependant pas un refroidissement artificiel de cet organe si on limite sa vitesse de rotation. La pression nécessaire au cheminement du plastique le long de la vis est obtenue si le taux

de compression prévu est adapté à la matière traitée ; la pression en bout de cylindre qui en résulte n'est pas suffisante pour obtenir un moulage correct par transfert direct dans le moule. Cette dernière opération doit être effectuée en faisant fonctionner la vis comme un piston, grâce à un mouvement de translation fourni par un vérin hydraulique. [9]

II.6.2.4. Tracé de la vis :

Dans un premier temps, la matière entraînée par la vis avance sans changement important de volume et l'on peut adopter un tracé avec noyau cylindrique (fig. II.16 a). Lorsque la température du plastique croît, on entame la phase de compression et l'échauffement s'accélère ; l'on donne alors au noyau de vis une forme tronconique réduisant progressivement la section d'écoulement. Dans cette zone, l'air et les gaz véhiculés sont refoulés vers la trémie, grâce à l'élévation de la pression.

Les proportions de la figure 16 a correspondent à une vis pour polyamides. Avec le polyéthylène basse densité, une zone de compression de longueur $D/2$ convient bien, mais l'on peut également utiliser une vis dont le noyau est tronconique sur toute sa longueur (fig. II.16 b) Le pas de la vis est généralement constant et à un seul filet. Les petits pas assurent le travail mécanique le plus élevé et donnent les plus fortes pressions, mais aussi les plus petits débits. A égalité de pas, une vis à plusieurs filets fournit une pression plus élevée, mais un débit plus réduit car les filets supplémentaires occupent une partie du volume disponible. Par contre, la surface d'échange thermique est accrue et la résistance mécanique de la vis est améliorée. [9]

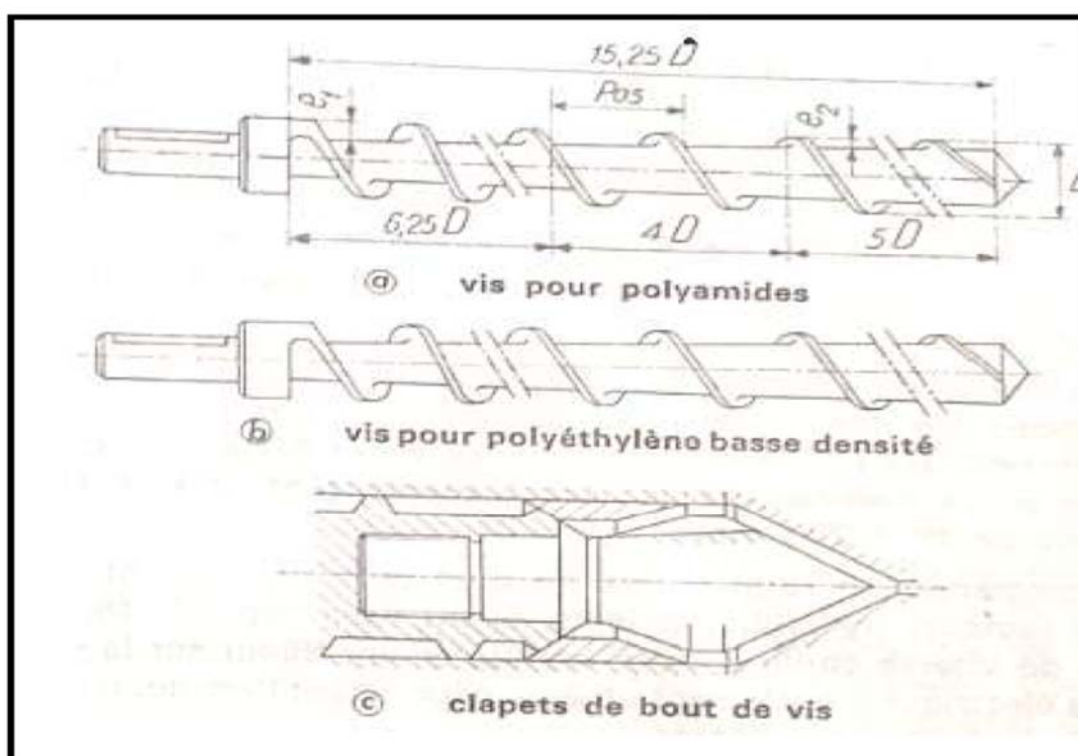


Fig.II 16 Vis de plastification. [9]

Une faible profondeur de filet accroît les pertes par frottement et augmente les échanges thermiques entre plastique et cylindre mais le débit est amoindri ; on l'utilise pour

les fortes pressions et les matières rigides. Les fortes profondeurs de filet conduisent à des pressions plus faibles et des débits importants ; elles conviennent pour les plastiques souples (polyéthylène basse densité). Le débit peut encore être augmenté par une vitesse de rotation plus élevée et une vis plus longue. Avec des plastiques à faible coefficient de conductivité, il faut faire appel aux filets peu profonds.

Le chemin parcouru par le plastique est proportionnel au diamètre et à la longueur de la vis. Plus la vis est longue, plus le travail mécanique cédé au plastique sous forme de chaleur est important ; cependant une vis trop longue peut amener la décomposition de la matière et, si elle est trop courte, le malaxage est insuffisant et la température obtenue non homogène. On utilise couramment des longueurs de vis de 15 à 20 diamètres et plus.

Les taux de compression varient de 2 à 4 selon la nature des matières. Les vitesses de rotation des vis s'étaient entre 10 et 500 rpm (révolution par minute) le plus souvent. Avec des plages de 10 à 100 rpm pour les plus gros diamètres de vis et 50 à 500 rpm, pour les plus petits diamètres. Les vis actuellement en service ont des diamètres de 18 à 220 mm.

La commande en rotation est de plus en plus souvent réalisée par des moteurs hydrauliques lents, ayant l'avantage de fournir un réglage de vitesse continu, avec accouplement direct sur la vis. Les moteurs électriques, également utilisés, nécessitent l'emploi de réducteurs ou de boîtes de vitesses. [9]

La mono vis standard d'injection comprend en général trois zones (Fig.II.17)

Une zone d'alimentation : dans laquelle les granulés de polymère sont convoyés et compactés dans le chenal de la vis. C'est ici que la profondeur du chenal est la plus grande, et elle reste constante.

Une zone de compression : de forme tronconique, les granulés vont y être progressivement fondus par action conjuguée des colliers chauffants et du cisaillement de la matière. La profondeur du chenal diminue progressivement pour atteindre sa valeur minimale en zone de pompage. Les deux premières zones d'une vis permettent de plastifier la matière.

Une zone de pompage : dans cette dernière partie la profondeur demeure constant, le polymère est mis en pression et s'homogénéise.

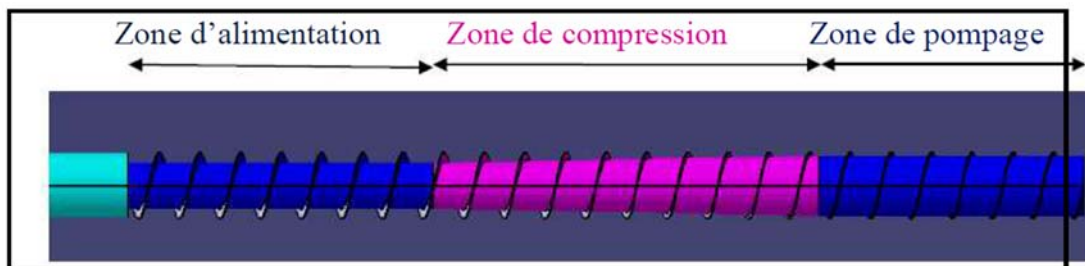


Fig. (II.17) : Schéma d'une monovis avec trois zones

La longueur de la vis : une vis est généralement définie par le rapport entre sa longueur fixée (L) et son diamètre nominal (D). En général ce rapport oscille autour de L/D. [9]

II.6.2.5. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau :

Dans le système vis fourreau on a une transformation du granulé de l'état initial à l'état proche en représenté comme suit :

La première fenêtre est située dans la zone d'alimentation de la vis, nous voyons bien les granulés de polymère gardant leurs formes solides. Le polymère commence à fondre à l'interface polymère – fourreau à partir de la seconde fenêtre, par conduction thermique et cisaillement entre le polymère et le fourreau. Bien que la qualité des images ne soit pas parfaite, nous pouvons tout de même voir l'apparition d'un film très fin de polymère fondu collé aux parois de la fenêtre. Le lit solide du polymère a été filmé à la troisième et quatrième fenêtre.

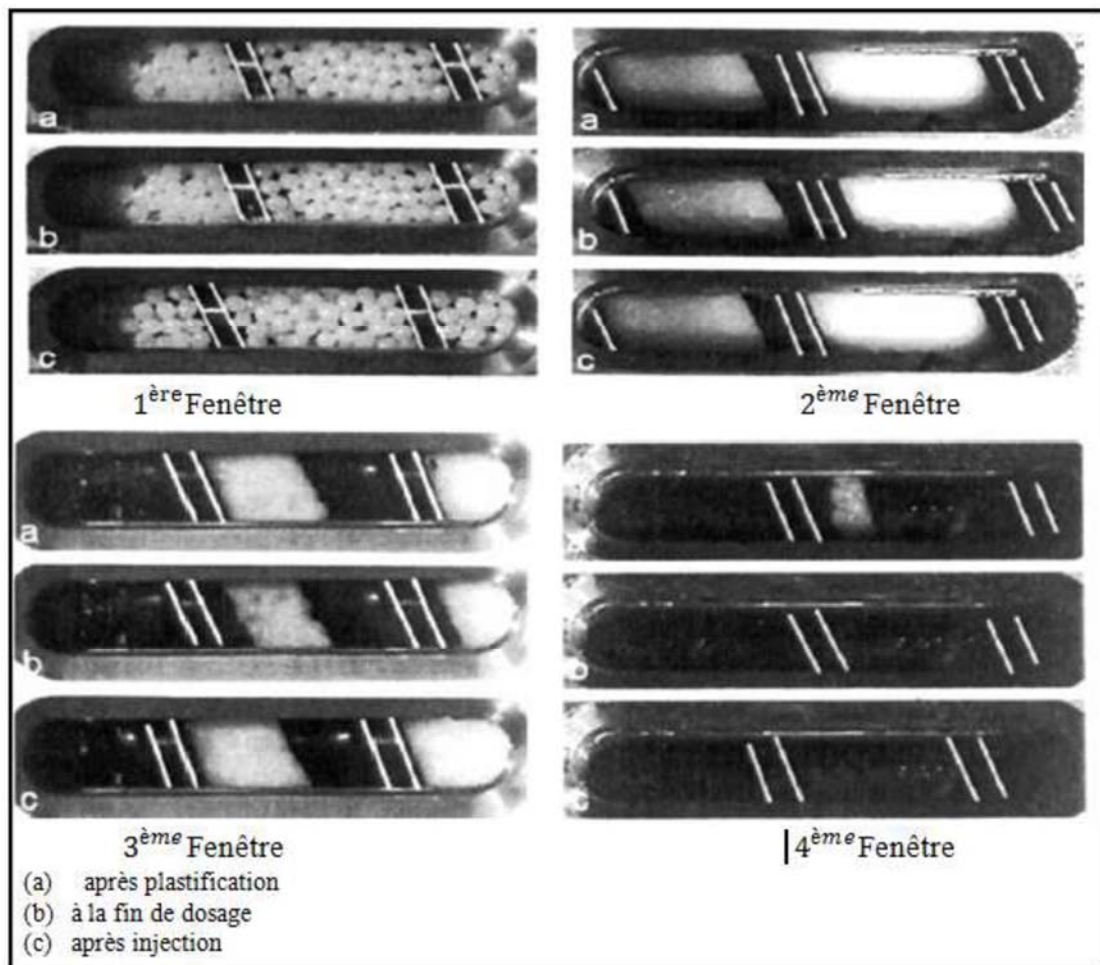


Fig. (II.18) : les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis fourreau. [10]

II.6.2.6. La buse:

Le refoulement de la matière plastique dans un moule relativement froid et à travers des sections d'écoulement relativement faible (afin de limiter les déchets) doit s'effectuer dans un temps relativement court, en vue d'éviter une solidification prématurée, cela exige l'emploi d'une pression élevée et l'on définit la pression d'injection comme étant la pression maximale atteinte à l'extrémité du cylindre de plastification pendant que la vis piston refoule le plastique dans les cavités de moule.

Une fois plastifiée, la matière est introduite avec une très grande vitesse dans le moule. [10]

Elle doit assurer un contact étanche avec le moule durant son est généralement sphérique ou tronconiques ou plans. Elle doit également présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.

A – Buse d’injection
B – Collier chauffant
C – Nez de presse
D – Clapet
E – Siège de clapet

F – Passage matière
G – Vis
H – Pointe clapet
I – Fourreau

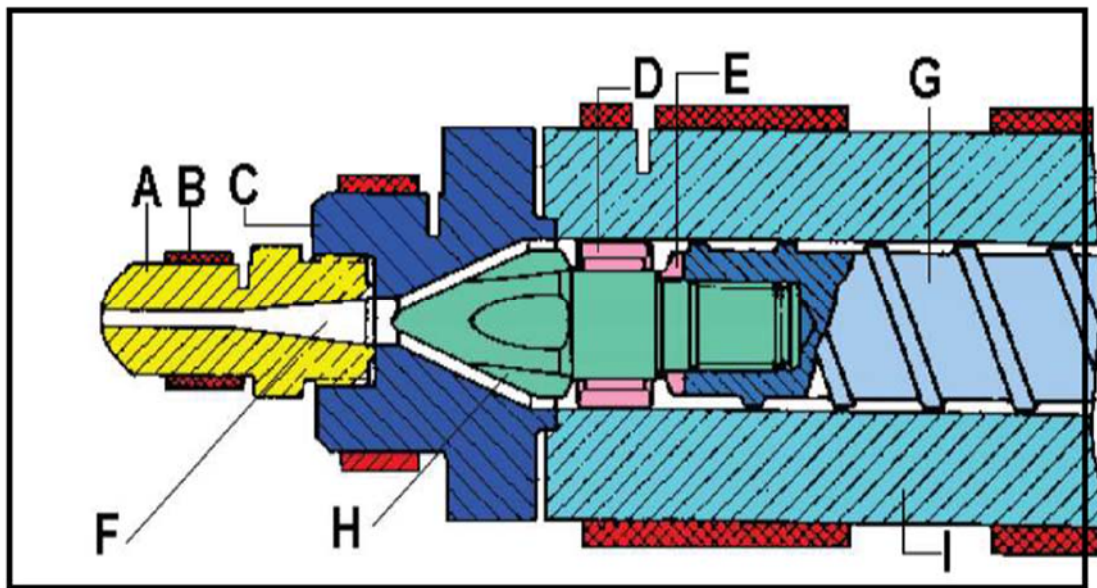


Fig. (II.19) : la buse. [10]

II.6.2.6.1. Calcul des buses des presse d'injection :

Contacte buse moule dur (un acier traité genre 40 CN15 s'impose).

Présenter un diamètre de trou de sortie variable selon le volume de matière à débiter lors de chaque injection, et aussi avec la nature de cette matière plus elle est visqueuse à la température de moulage, plus la pièce moulée est importante, et plus grand doit être l'orifice de buse.

Pour un volume à injecter de $P(\text{cm}^3)$ à la vitesse d'écoulement $V (\text{cm/s})$ et pour temps d'écoulement $t (\text{s})$, on peut utiliser la relation :

$$P = SVt = \pi \cdot d^2 \cdot vt / 4 \quad \dots\dots\dots(\text{II } 3)$$

Soit $d = \sqrt{(P/0.785 vt)}$ si $d (\text{cm})$ est le diamètre de l'orifice.

$Vt = 2,5 \text{ cm}$ pour le polystyrène

$2,25 \text{ cm}$ pour l'acétate de cellulose

$2,1 \text{ cm}$ pour le poly méthacrylate de méthyle

5 cm pour les polyamides

La figure 21a à représenter une buse ouverte classique répondant à ces divers critères [9]

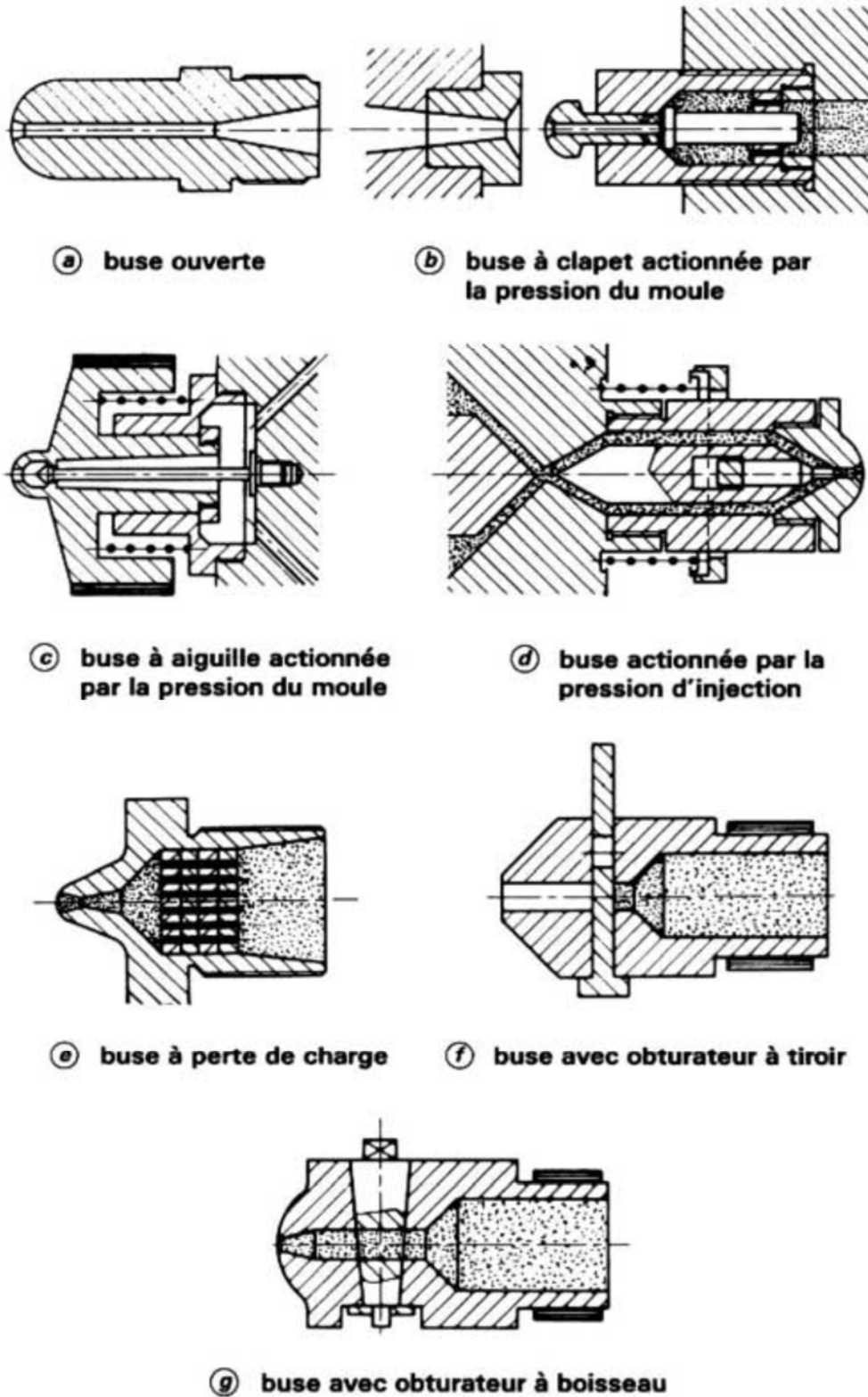


Fig. (II.20) différents types des buses d'injection. [9]



Fig. (II.21) buses d'injection

II.6.3. Position du point d'injection :

La bonne réalisation d'une pièce est conditionnée par un bon écoulement de la matière, ainsi que la bonne fermeture de l'outillage.

L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec soin et l'injection de la matière placée au point d'équilibre.

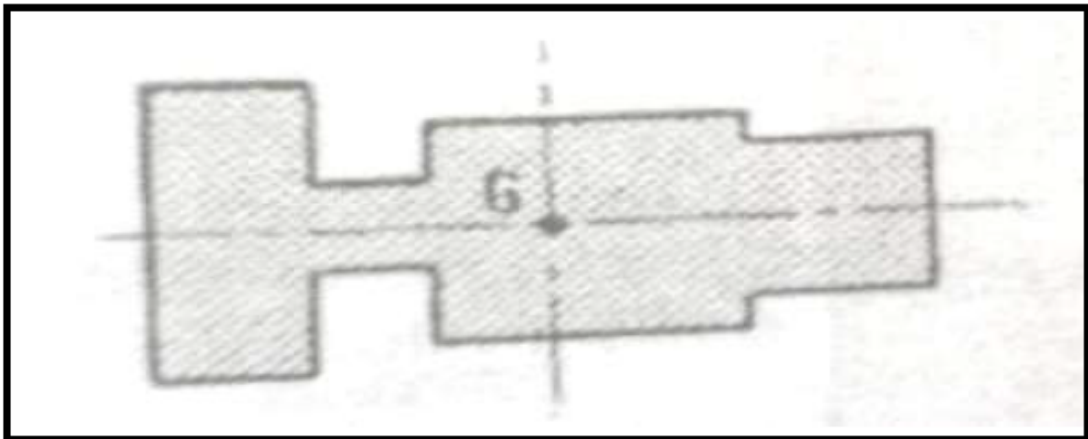


Fig. (II.22) centre de gravité de la pièce. [9]

Le point d'équilibre idéal est le centre de gravité de l'empreinte. L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec soin et l'injection de la matière. Placée au point d'équilibre.

II.6.3.1. Recherche de centre de gravité :

Le point d'injection est situé au centre de gravité des surfaces à pièce d'être fabriqués.

$$X = (s_1 x_1 + \dots + s_4 x_4) / \sum s \dots \dots \dots (II.4)$$

X = position par rapport à l'empreinte

$$\sum s = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$$

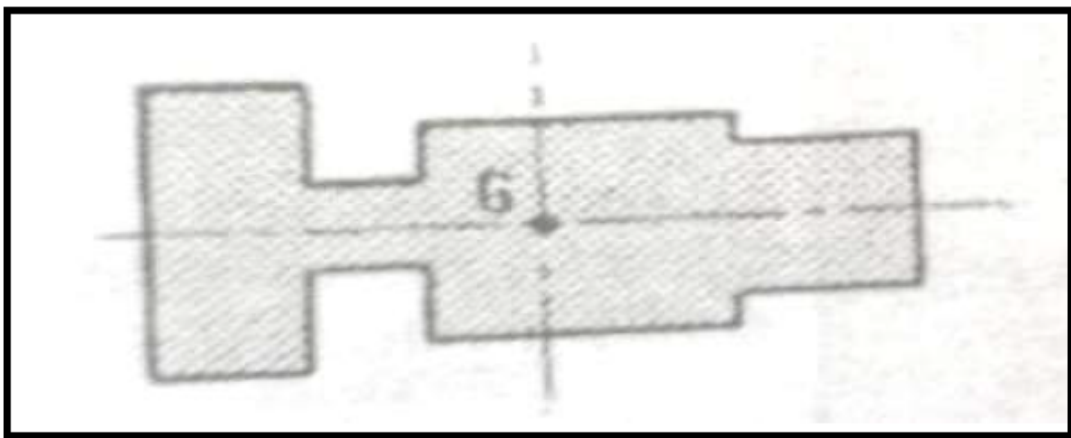


fig. (II.23) Méthode de calcul. [10]

II.6.4. seuil

Le seuil est le passage par lequel la matière pénètre dans l'empreinte. La forme, la position et la dimension des seuils influent sur l'écoulement et sur l'orientation qui conditionne la résistance aux sollicitations mécaniques et les risques de déformation au refroidissement.

Les formes les plus utilisées sont : alimentation capillaire (pin point), section rectangulaire, section V en demi-cercle.

Beaucoup de moules présentent des sections très voisines de celles calculées à l'aide de la formule de SOMER FIELD.

$$S = 0.35 \times M$$

Avec S (mm²) section des entrées

M (g) masse de matière injectée dans l'empreinte

La longueur des seuils doit être la plus petite possible. [3]

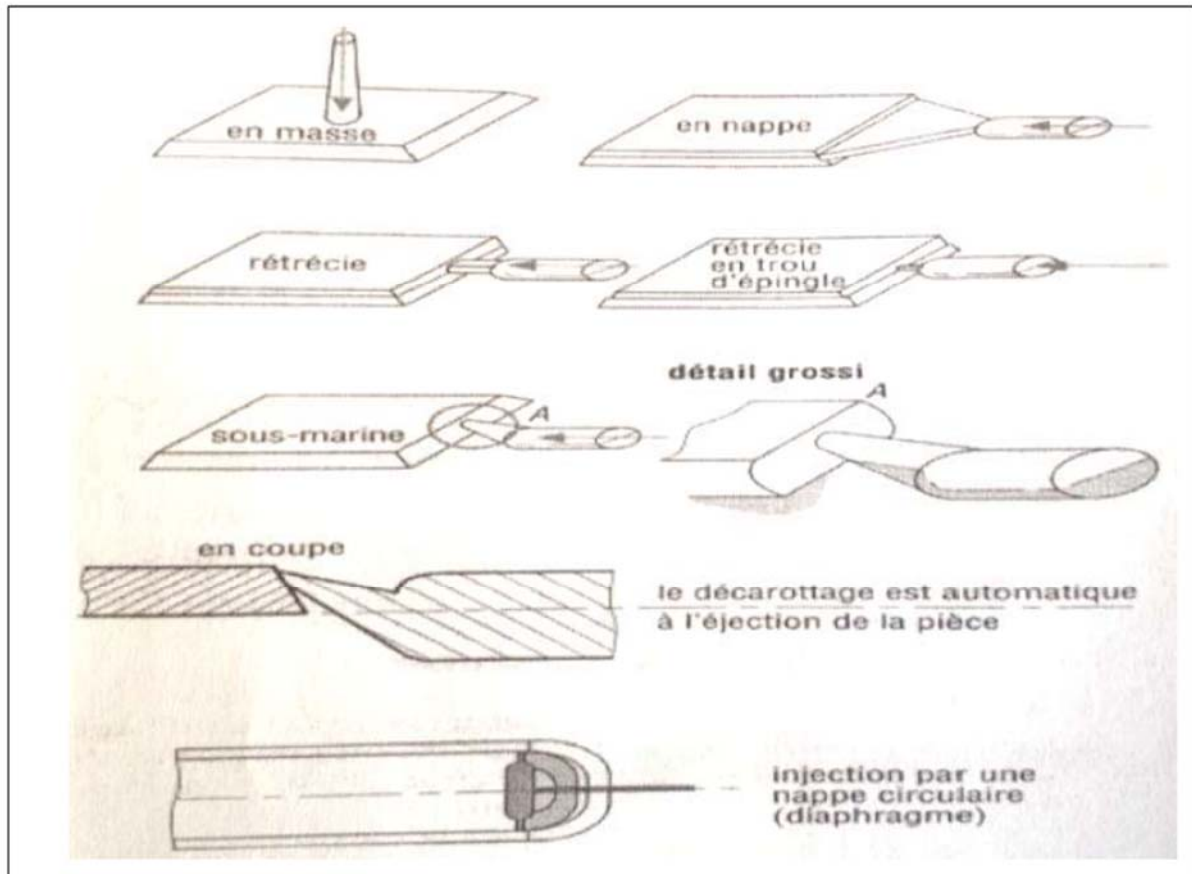


Fig. (II.24) : seuil d'injection

II.6.5. Les colliers chauffants et les barres de fixations:

Dans l'ensemble de vis fourreau, les colliers chauffants servent à chauffer par conduction et réguler l'ensemble du système à la température de travail du polymère utilisé. Ils ont des formes circulaires, qui permettent d'entourer le fourreau cylindrique. Pour fonctionner, ils sont reliés directement au système électrique de la presse. Il existe plusieurs types de colliers chauffants correspondant aux puissances demandées. En général, pour les fourreaux des presses à injection on utilise souvent les colliers de type céramique, ou bien de type mica.



Fig. (II.25) : Un des trois colliers chauffants spéciaux

II.7. Le moule

II.7.1. Définition :

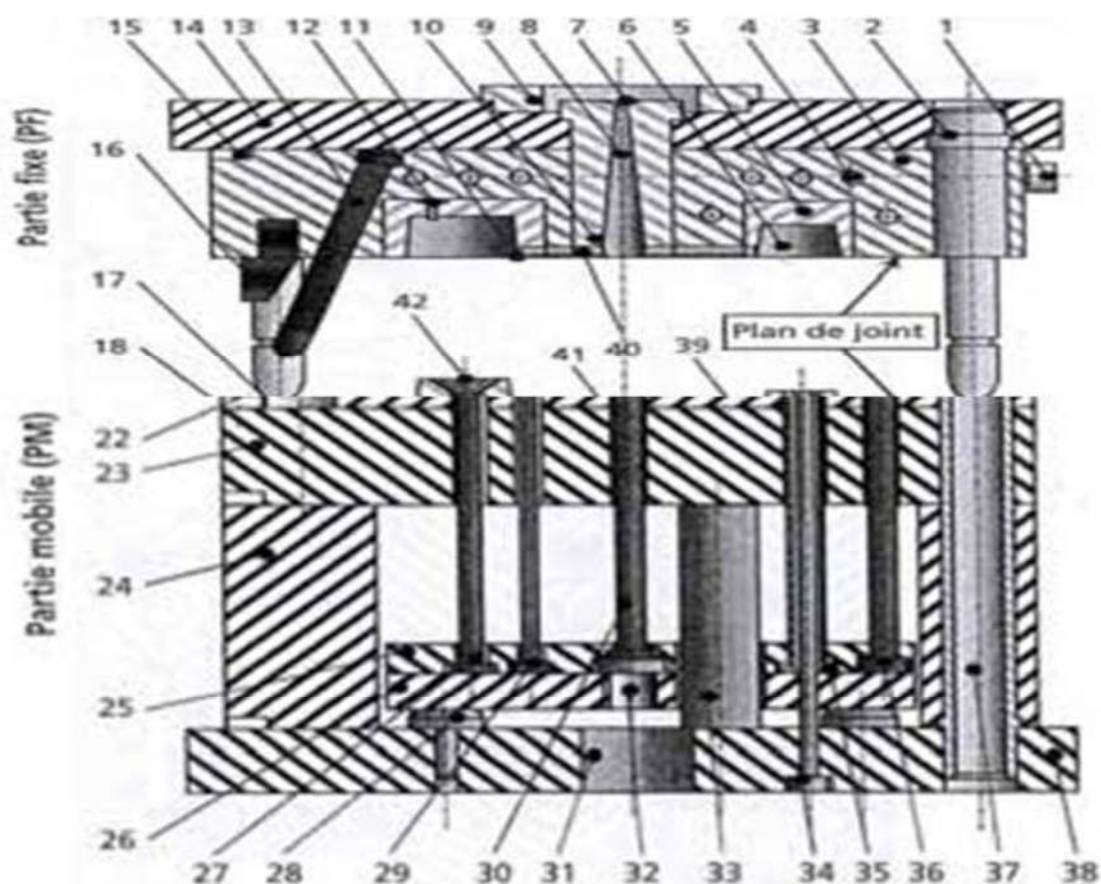
Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Un moule est constitué principalement de composants illustrés par les figures suivantes :

Le Corps et la cavité du moule sont chacun montés et partagés sur deux parties du moule mobile et fixe.

Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (solllicitations, interactions avec les polymères...). [11]

La conductivité thermiques des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [F] et varie environ entre 15 et 40W.m-1.K-1. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection (*Fig.II.26*), qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.



	Guidage et positionnement		Carcasse
	Éjection		Refroidissement
	Mise en forme de la matière		Mouvements auxiliaires

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Embout de régulation (raccord rapide) 2. Colonne de guidage 3. Plaque porte-empreinte de partie fixe 4. Circuit de régulation 5. Bloc empreinte de partie fixe 6. Empreinte de partie fixe 7. Portée de buse moule 8. Cheminée de buse 9. Rondelle de centrage 10. Buse moule 11. Seuil d'injection 12. Broche 13. Doigt de démoulage 14. Plaque semelle de partie fixe 15. Prise de pince 16. Verrou de tiroir 17. Tiroir (ou chariot) 18. Plaquette d'usure du tiroir 19. Rainure de guidage du tiroir 20. Bonhomme à bille (ou verrou à bille) 21. Plaque porte-empreinte de PM | <ol style="list-style-type: none"> 22. Bloc empreinte de partie mobile 23. Plaque intermédiaire de PM 24. Tasseau (ou entretoise) 25 et 26. Batterie d'éjection¹ : contre-plaque d'éjection (25) et plaque d'éjection (26) 27. Éjecteur porte-soupape 28. Repos d'éjection 29. Éjecteur 30. Éjecteur arrache-carotte 31. Passage d'éjection 32. Système d'attelage d'éjection 33. Pilier (ou chandelle) 34. Broche centrale d'éjecteur tubulaire 35. Éjecteur tubulaire 36. Rappel d'éjection (ou RAZ) 37. Douille de guidage 38. Plaque semelle de partie mobile 39. Joint torique 40. Canal d'alimentation 41. Arrache-carotte 42. Soupape d'éjection |
|---|--|

Fig. (II.26) Présentation du moule. [9]

II.7.2. L'unité de fermeture:

Cet ensemble permet la fermeture, l'ouverture) et le verrouillage de la partie mobile de moule, sur la partie fixe. C'est un organe très important qui doit s'opposer à l'effort d'injection. Elle supporte le système d'éjection. Ainsi, cette unité peut être manœuvrée de plusieurs manières.

a) Unité de fermeture mécanique :

Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (arc-boutement).

Comme le montre la figure, le sommier est relié au plateau fixe par quatre colonnes sur lesquelles le plateau mobile se déplace.

Nous verrons plus loin que ce sont elles qui va assurer la force de fermeture.

La (Fig. II.27) montre comment les genouillères développent la force de fermeture.

Les éléments de genouillère G sont représentés dans la position où les plans de joint du moule se rencontrent. Dans cet état, le plateau mobile ne peut plus avancer et les éléments de genouillère en mouvement occupent. On peut se rendre compte que les genouillères remplissent parfaitement le rôle d'un levier qui multiplie les forces. En effet le vérin continue à pousser. Ce qui va provoquer un faible allongement des quatre colonnes. Pour les contraintes et déformations exercées, le comportement mécanique des colonnes sera élastique et ces dernières interviendront comme des ressorts pour exercer la force de fermeture du moule. [9]

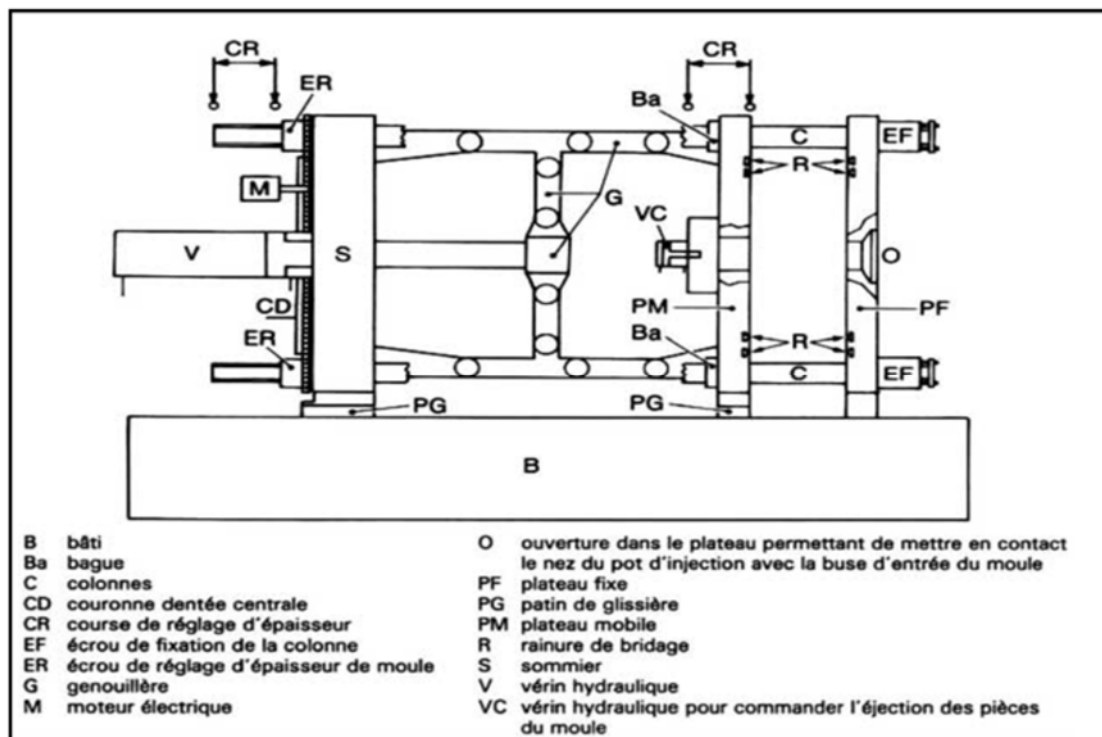


Fig. (II.27) : Groupe de fermeture à genouillères. [9]

c) Unité de fermeture mixte :

Ce procédé est un compromis, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques.

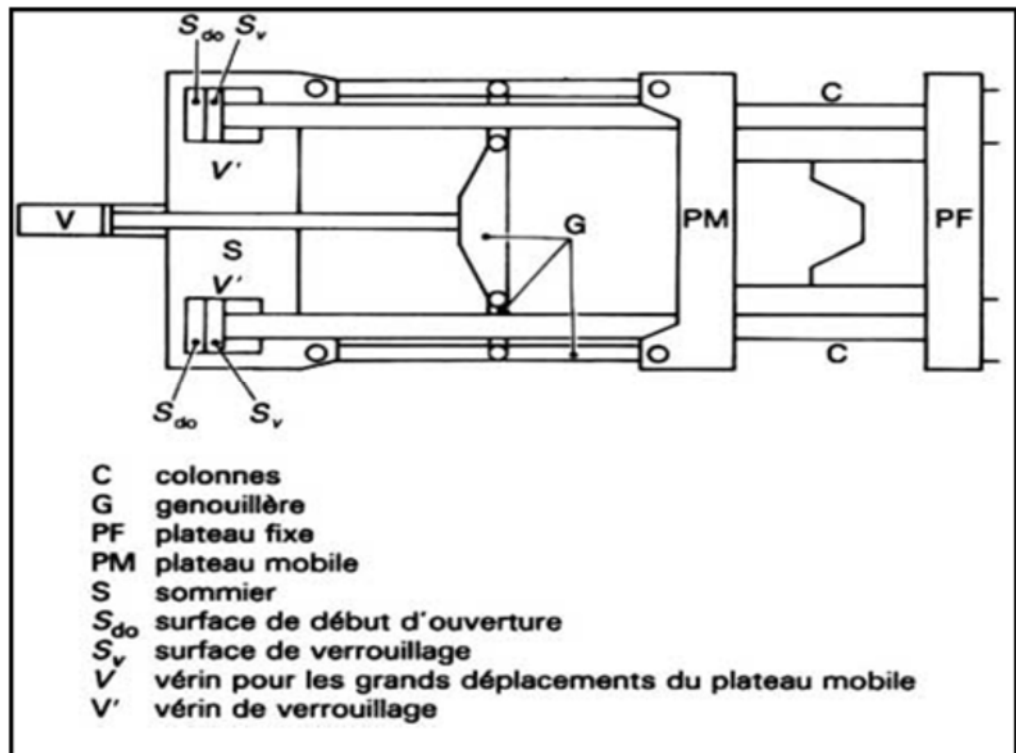


Fig. (II.29) : Groupe de fermeture mixte. [9]

II.7.2.1. Force de fermeture :

Elle détermine la capacité maximale, en surface frontale ou surface projetée des pièces moulées et de leurs canaux d'alimentation, sur un plan parallèle à celui des plateaux. Si F est la force de fermeture, S la surface frontale, P_m la pression moyenne régnant à l'intérieur de l'outillage, il faut respecter l'inégalité :

$$F \geq P_m \cdot S \text{ d'où } S \leq (F/P_m) \dots\dots\dots (II.5)$$

Pour S maximal, la pression moyenne admissible est de l'ordre de 25 à 30 MPa. [11]

II.7.2.2. Course de fermeture ou d'ouverture :

Elle conditionne la profondeur maximale des pièces modulables. La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. [11]

II.7.3. Dimension des plateaux :

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule. Par exemple presse billion 9050 diamètres de centrage du moule sur le plateau Φ 100 H7.

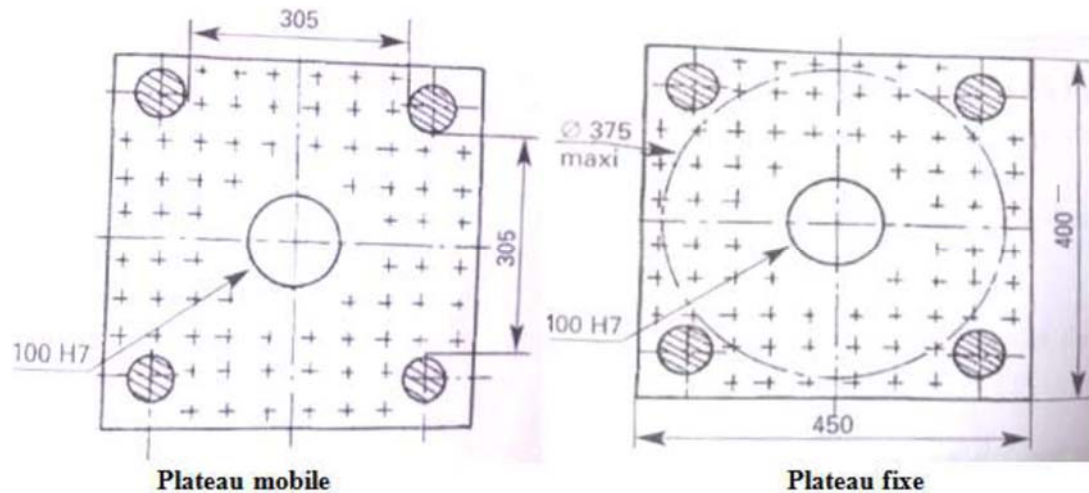


Fig. (II.30) : les plateaux de mole [11]

II.7.3.1. Passage entre colonne

La charge de l'outillage doit être inférieure à la distance horizontale entre les colonnes de la presse dans le cas où le moule est verticalement.

Cotes maxi 280*280 ou Φ 375. [12]

II.7.3.2. Fixation sur plateaux

Prévoir dès le début de la conception du moule de la fixation de celui-ci sur les plateaux par bridage ou vise dans les plateaux. [12]

Exemple

Diamètres des trous lisses ou taraudés. Trou Φ 14 profondeurs 39 mm, Trou M 12 profondeurs 35 mm

II.7.3.3. Rayon de portée de la buse

De presse et son diamètre de passage de la matière plastique si nécessaire adapter les équipements.

II.7.4. Canaux d'alimentation :

Comme dans le cas des buses et pour les mêmes raisons, la section des canaux est un compromis. Sommerfeld indique que la section des canaux doit être 3 fois la section des seuils. [25] Beaucoup de moules en service sont équipés de canaux dont la section est 2/3 ou 1/2, Sommerfeld propose qu'il est important de prévoir des canaux de section plus faibles est de les agrandir après essai pour la réalisation du moule.

a) Forme de la section des plans des canaux

Les figures ci-contre illustrent ces choix.

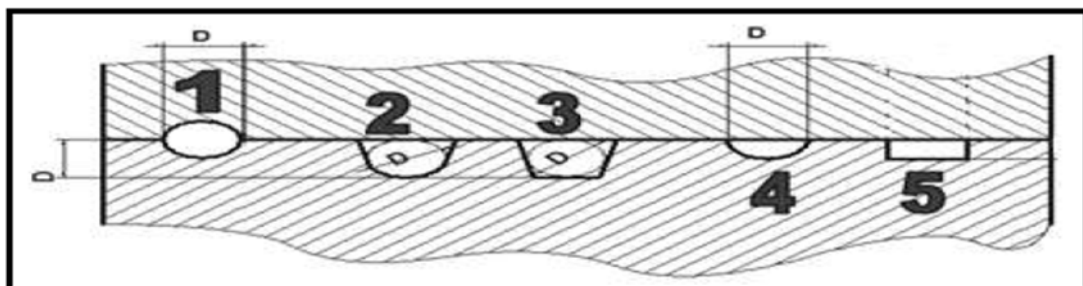


Fig. (II.31) : Les différents types de canaux d'alimentation. [9]

La longueur des canaux ne doit pas dépasser 100 mm.

La forme la mieux adaptée est la section circulaire les demis circulaire

La surface doit être parfaitement polie pour éviter le collage

b) Canaux a section circulaire

Ils garantissent un débit maximal, de matière et un temps de refroidissement minimal.

L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge.

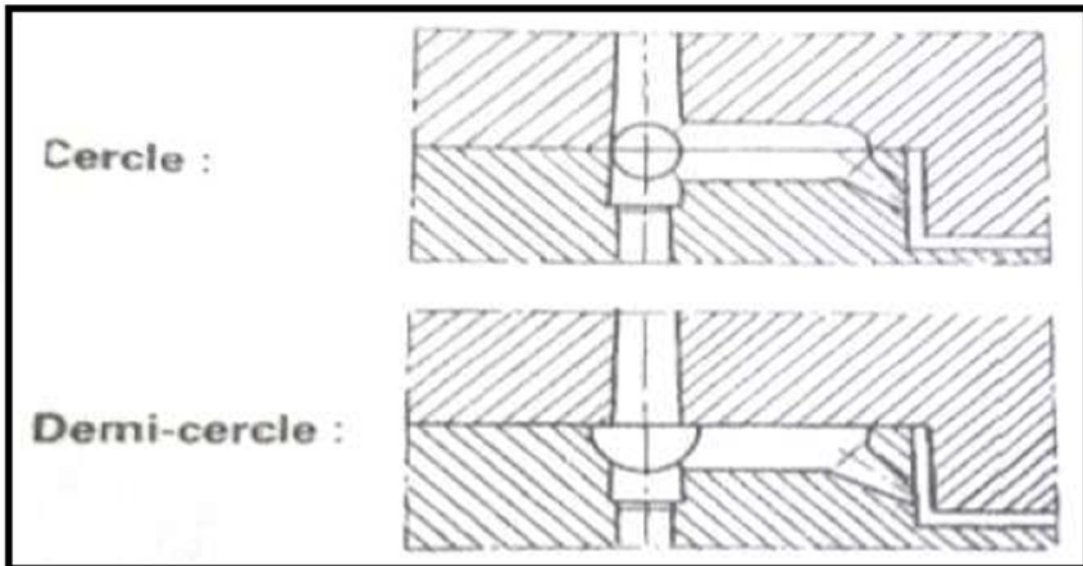


Fig. (II).32 canaux circulaire et demi-circulaire [9]

c) Canaux a section trapézoïdale

Ils garantissent un débit moyen et un refroidissement plus rapide.

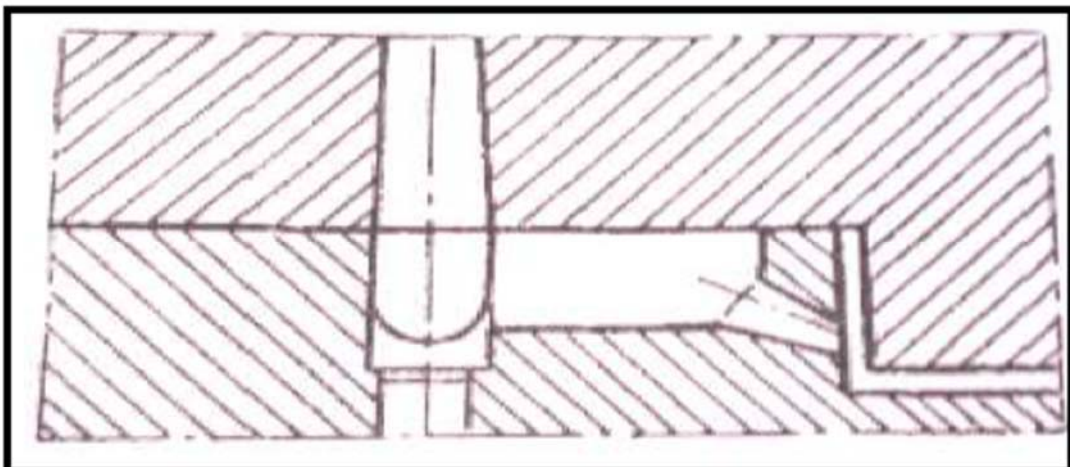


fig. (II.33) Canaux Trapézoïdale. [9]

d) Dimensions des canaux

Canal principal	Canal secondaire
L = longueur des canaux en (mm) D = Diamètre du canal $D = 6L_1 = 75 \text{ mm max}$ $D = 8L_1 = 75 \text{ à } 250 \text{ mm}$ $D = 10L_1 = 250 \text{ mm max}$	d = diamètre de canal $d = 6 \text{ mm}, L_2 = 75 \text{ mm max}$

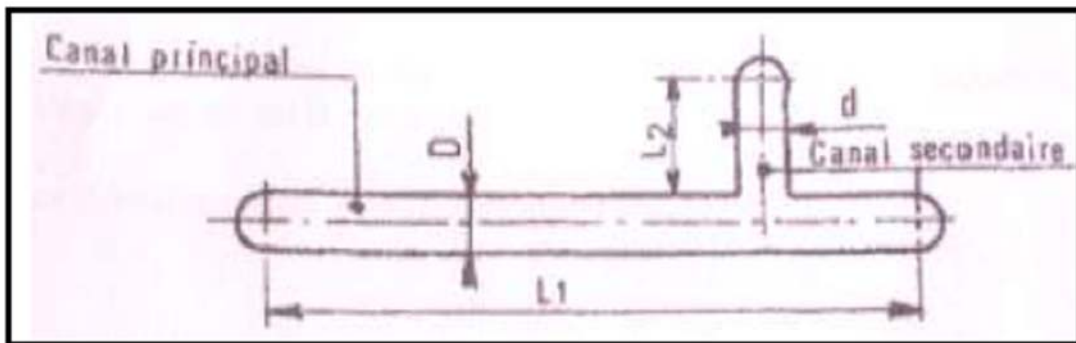


Fig. (II.3) : Canal principal et Canal Secondaire. [9]

e) Système des canaux

Dans les moules à plusieurs empreintes alimentés par un canal principal doit se prolonger delà du point de dérivation du canal secondaire pour constituer un point à goutte froide Il faut réduire au minimum la longueur des canaux pour diminuer les pertes de charge [7]

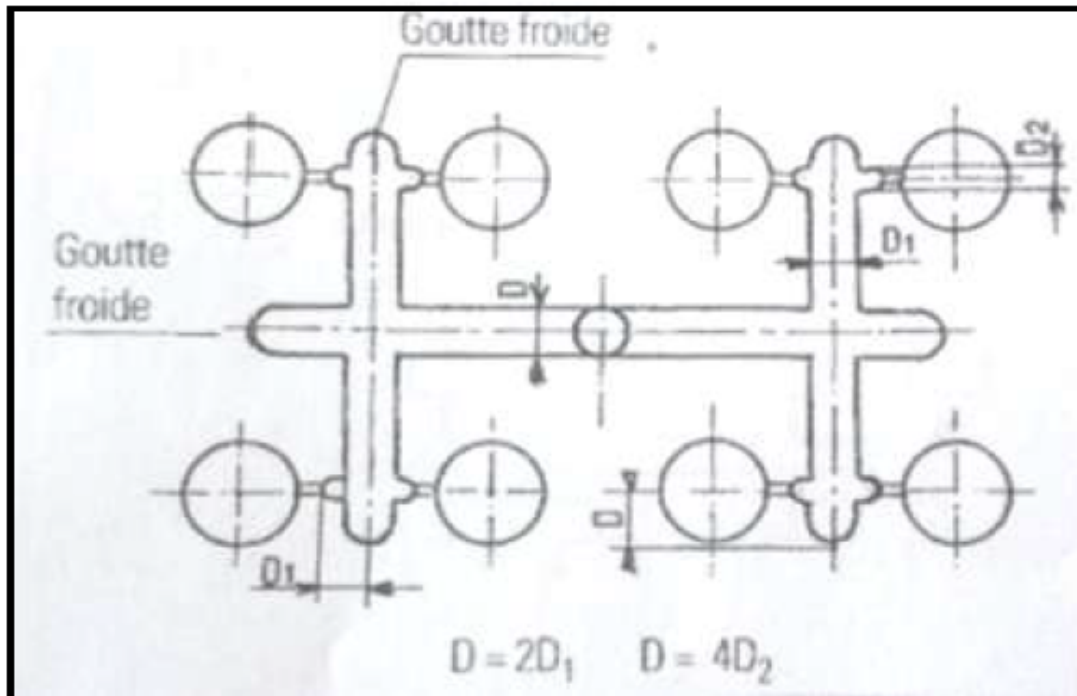


Fig.II.35 : Système des Canaux. [9]

f) Implantation des canaux

L'implantation des canaux se fait en fonction des empreintes et du nombre de pièces produites par le moule. Les pièces, les canaux et la carotte forment une grappe.

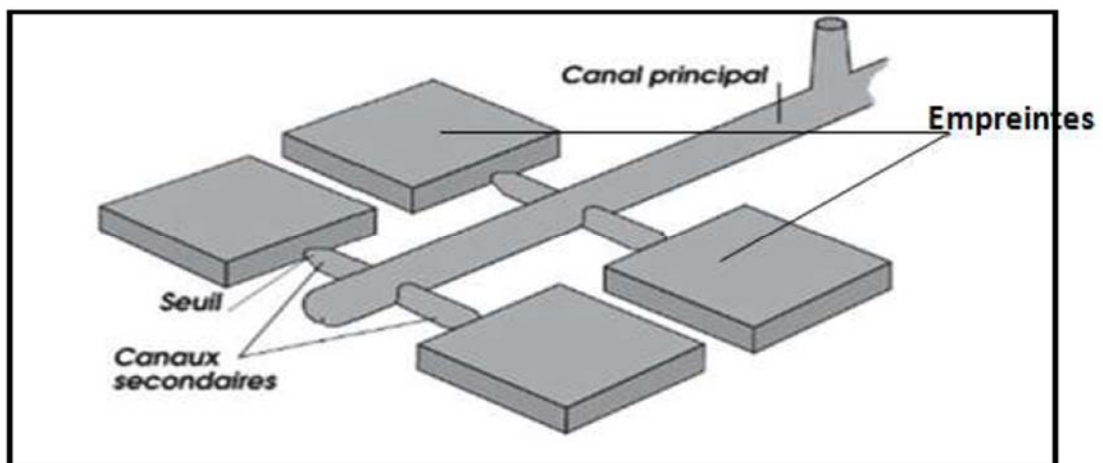


Fig. (II.36) Exemples de l'emplacement des canaux [9]

II.7.5. Events d'évacuation de l'air:

Un moule doit pouvoir expirer. En effet, l'air et les gaz (vapeur d'eau, etc.) emprisonnés dans les empreintes peuvent s'opposer au cheminement du flux de matière. Les pièces présentent alors des porosités, les gaz portés à haute température peuvent même provoquer des brûlures à la surface des pièces. Pour faciliter l'évacuation des gaz, il est bon de prévoir des events généralement disposés dans les plans de joint ou le long de broches. Ils ont généralement les dimensions suivantes.

- profondeur 10 à 100 μm
- largeur 5 à 10 μm

Les événements sont généralement usinés après les premiers essais du moule. L'état de surface doit permettre l'évacuation facile de la matière au moment du démoulage ; sans cela, les événements cessent

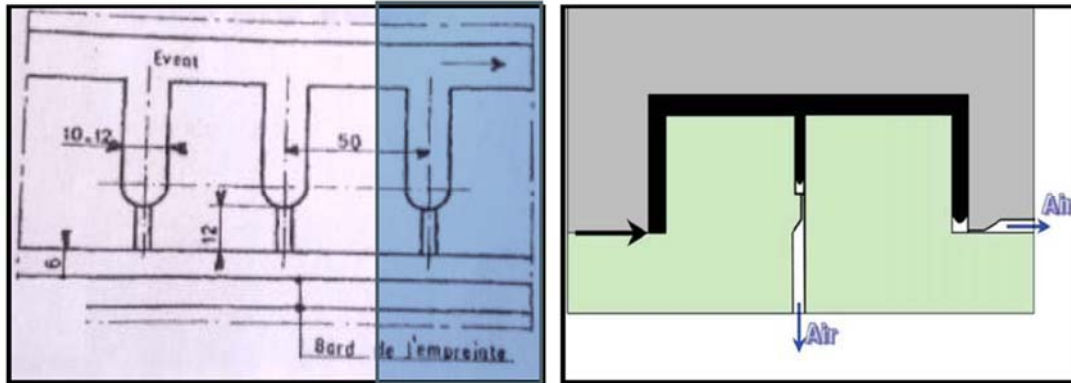


Fig. (II.37) Events sur le plan de joint. [9]

II.7.6 L'éjection :

Pour assurer un bon démoulage, les empreintes doivent présenter un angle de dépouille de l'ordre de 10° , mais il est en général nécessaire d'avoir recours à des éjecteurs. Lors de l'ouverture du moule, la pièce peut rester soit sur le piston, soit dans l'empreinte. C'est généralement le retrait qui plaque la pièce sur l'une des deux parties du moule. Il est parfois possible de faire rester la pièce

d'un côté plutôt que de l'autre, pour faciliter l'action des éjecteurs, en modifiant l'angle de dépouille ou en pratiquant de légères encoches dans le moule sur les faces non visibles de la pièce. Les éjecteurs sont généralement des tiges cylindriques de petit diamètre (par exemple 5 à 6 mm).

Des éjecteurs trop longs ou de trop faible diamètre peuvent se déformer. Les tiges doivent être bien ajustées pour empêcher les fuites, mais également pour éviter le grippage et limiter l'usure. Généralement, les éjecteurs sont regroupés sur une plaque dite **plaque d'éjection**, dont les mouvements sont commandés par les déplacements des plateaux de presse. Le rappel des éjecteurs peut être assuré par des ressorts.

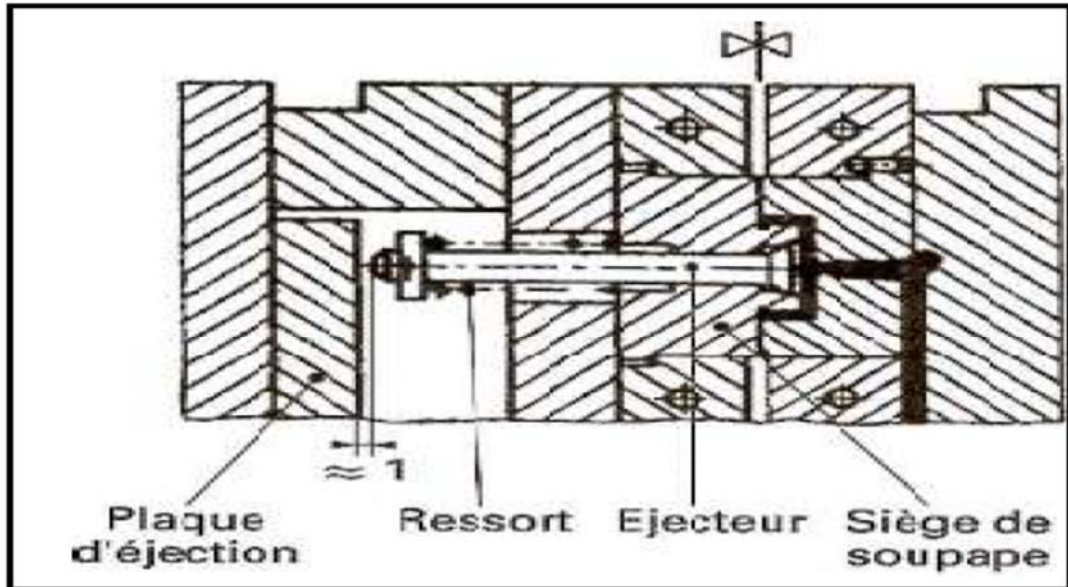


Fig. (II.38) Éjecteur en forme de soupape [13]

II.7.7. Refroidissement des moules :

La pièce moulée en, se refroidis, cède sa chaleur à l'outillage. Ce dernier à son tour l'évacue très partiellement par rayonnement est convection dans l'air environnant, car la plus grande partie de la chaleur à éliminer est absorbée par un fluide réfrigérant (généralement de l'eau). Dans la production des pièces injectées, le temps de refroidissement constitue le plus souvent la phase la plus longue de cycle de moulage ; c'est donc en améliorant les conditions de refroidissement des pièces moulées que l'on peut encore faire des progrès sensible sur le plan de la

productivité. Les circuits de refroidissement des moules fonctionnent avec un simple réglage manuel de débit de l'eau.

La température de la matière plastique doit rester à la sortie de la buse de la presse jusqu'à l'empreinte du moule. Il faut donc procéder au refroidissement des zones qui entourent l'empreinte.

II.7.7.1 Rôle du refroidissement

Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique, une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage l'outillage qui la produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection.

La vitesse de refroidissement influence aussi la structure et les propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques. Il faut s'efforcer d'obtenir une vitesse de refroidissement uniforme par aboutir à une structure homogène, cela nécessite la création de condition de refroidissement identique en toute région du moule.

II.7.7.2. Principe de refroidissement

A l'équilibre, deux corps en contact thermique (qui en toutes possibilités d'échange de chaleur) atteignent une même température. L'énergie existant sous forme de chaleur, s'exprime en joule (J) [7]

La température $\langle\langle T \rangle\rangle$ s'exprime soit :

En degrés Celsius C° , l'origine étant $0 C^\circ$ température de la glace fendante.

En Kelvin «K», l'origine étant 0 K absolu avec la relation

$$T = \Theta + 273 \dots\dots\dots (\text{II.6})$$

Θ étant la température en degrés Celsius C°.

II.7.8. La régulation thermique des moules

Dans la plupart des cas, la régulation des moules d'injection est assurée par circulation d'un fluide caloporteur dans des canaux percés dans le moule. Un circuit complet peut être fabriqué par perçage de canaux rectilignes et l'utilisation de bouchons pour fermer le circuit (figure 1.13). Ce système est très efficace pour le refroidissement de plaque plane et rectangulaire puisque les canaux peuvent être repartis régulièrement à une distance constante de la pièce. Un refroidissement quasiment uniforme sera donc assuré. Par contre, l'utilisation de canaux rectilignes ne permet pas d'obtenir un refroidissement uniforme de pièces circulaires ou non planes (figure 1.14)

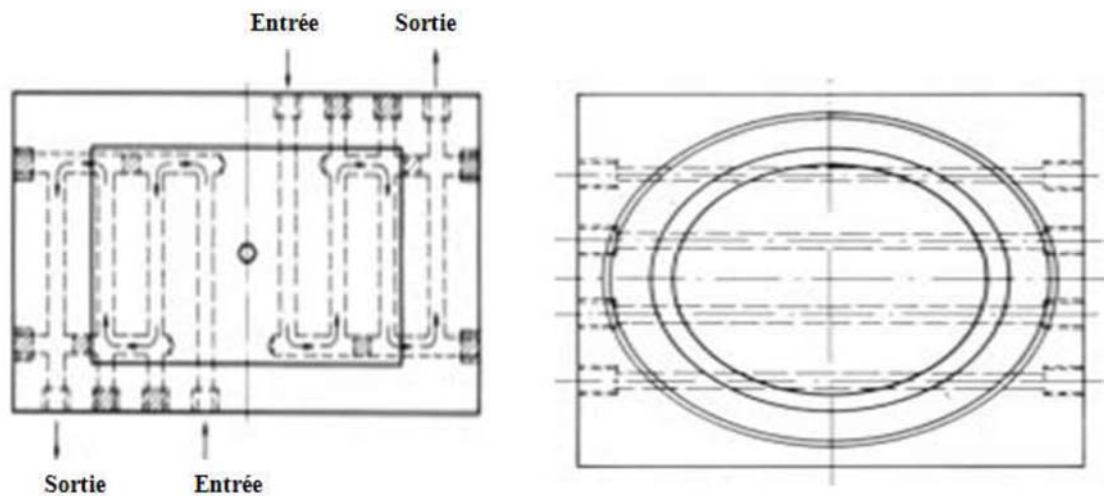


Fig. (II.39) Circuit de refroidissement des plaques de moules

Pour des zones très chaudes mais disposant de peu d'espace pour permettre la mise en place d'une circulation de fluide (par exemple les noyaux étroits), le refroidissement peut être effectué en utilisant des fontaines ou des inserts de matériaux très conducteurs (cuivre, bronze ou béryllium par exemple) en contact à l'autre extrémité avec un canal éloigné de la surface [12].

II.7.9.1. Circulation du fluide

Le fluide circule dans les canaux, la réalisation de ce circuit set peu couteuse, les canaux sont réalises par perçage. On à deux déférant de montage :

- Montage en série
- Montage en parallèle

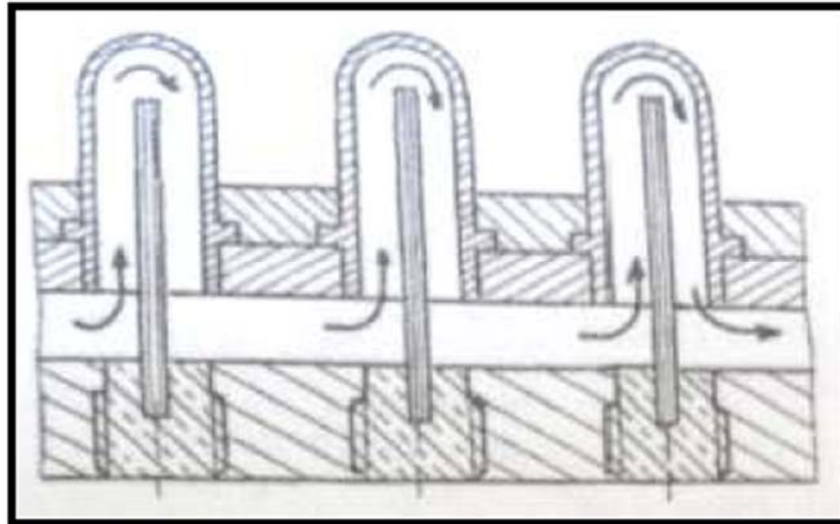


Fig. (II.40) : Montage en série

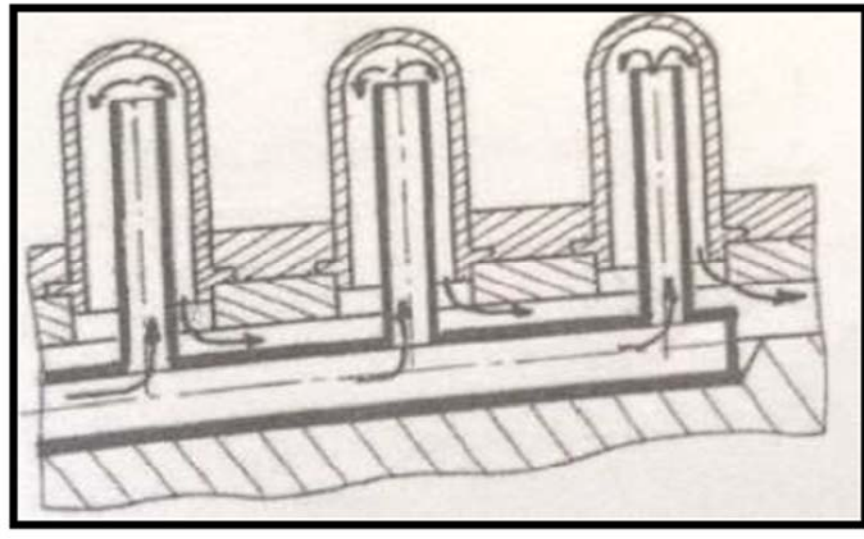


Fig. (II.41) : Montage en parallèle

II.8. Temps de refroidissement des pièces moulées

Le temps de refroidissement à l'intérieur du moule, d'un objet en matière plastique représente presque toujours la phase, la plus longue de cycle de production, en particulier pour épaisseurs de pièces courantes, de 1.5 à 3 mm.

Pour une pièce d'épaisseur régulière, située dans les limites indiquées et présentant des surfaces latérales internes et externes. Telle que celle schématisée sur le graphique de la fig. Les temps de refroidissement dépendent directement du rapport du volume de la pièce moulée à la surface totale de refroidissement (V/S), rapport très voisin de la moitié de l'épaisseur et conduisent à la relation.

Pour les types de pièces considérées

$$t/e^2 = 4 \rho c / k = \text{Cte} \dots \dots \dots \text{(II.7)}$$

Avec t : Temps de refroidissement

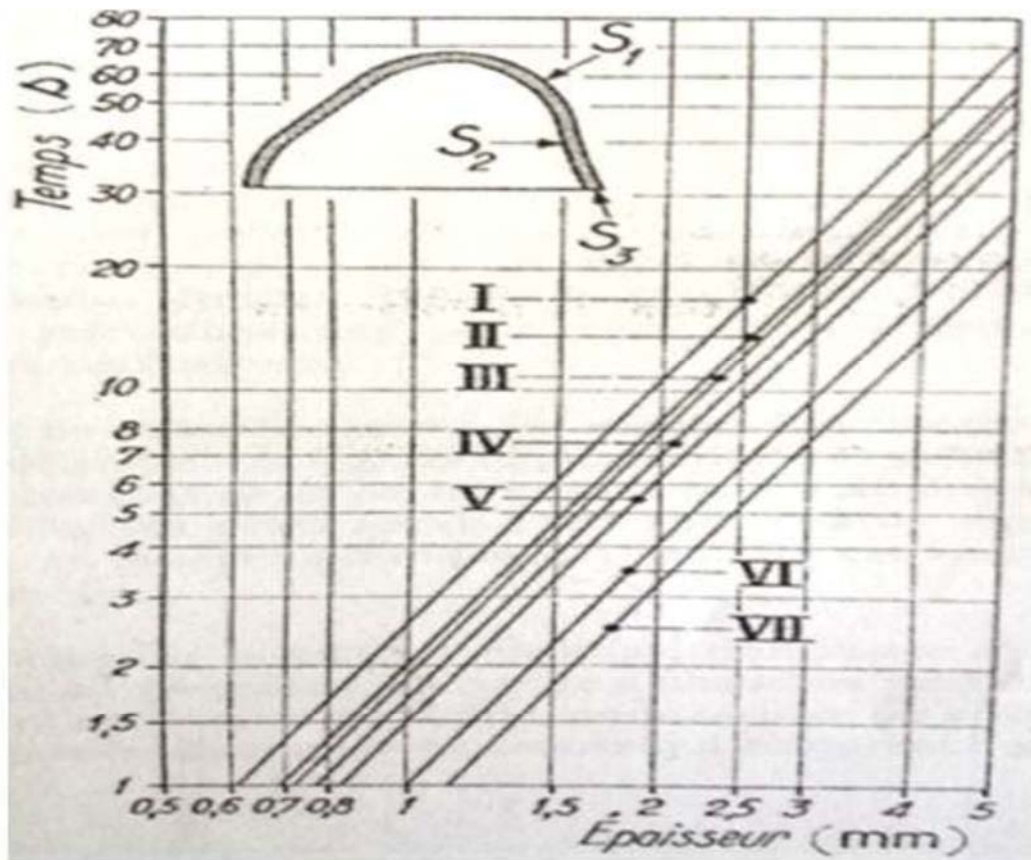
e : Epaisseur

ρ : Masse volumique

c : capacité thermique

k : Coefficient de conductibilité calorifique.

Le rapport pc/k est diffusivité thermique dont la valeur est connue par des températures voisines de la température ambiante, et même au-delà pour certaines matières. [7]



- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| I Polychlorure de vinyle | IV Acétate de cellulose |
| II Poly méthacrylate de méthyle | V Polycarbosole de vinyle |
| III Polystyrène | VI Polyamide Nylon |
| | VII Plyéthylène |

Fig. (II 43) Temps de refroidissement dans le moulage par Injection des thermoplastiques. [7]

Paramètres d'injection de différents thermoplastiques T_m , T_i , T_s respectivement température du moule, température d'injection et solidification

Symbole (1)	T_m (°C)	T_i (°C)	T_s (°C)	$\Delta T = T_i - T_s$	Viscosité		
					bonne	moyenne	faible
POLYMERES AMORPHES							
PPO	80	300	120	180			
PEI	100	370	215	155			
PMMA	70	245	100	145			
ABS	75	250	110	140			
ASA	75	245	105	140			
SAN	80	255	115	140			
PS	45	225	100	125			
POLYMERES CRYSTALLINS							
PE	25	250	140	110			
PP	35	255	165	90			
LCP (3)	175	400	330	70			
PA 11	60	230	175	55			
PA 12	60	230	175	55			
FEP	150	340	290	50			
PET	140	285	245	40			

Température dans la zone du seuil pour ΔT (°C)

180 100 60 25

Froide Chaude Très chaude

Tab (II.3) : Paramètres d'injection de différents thermoplastiques. [13]

II.9. Dilatation thermique

L'échauffement d'un matériau provoque une dilatation de celui-ci. Une pièce de longueur initiale L_0 chauffée selon une augmentation de température $\Delta\theta$ s'allonge en longueur selon la formule de (L).

Dans la construction d'un moule, il faut prévoir un jeu fonctionnel pour permettre la dilatation des pièces chauffées par rapport à celles qui restent froides.

$$L = L_0 (1 + \alpha \theta \Delta \theta) \dots\dots\dots (II.8)$$

L = Longueur à chaud

L_0 = Longueur initiale

$\alpha \theta$ = Coefficient de dilatation thermique en C^{-1} ou K^{-1}

$\Delta \theta$ = Elévation de la température en C° ou K

$\alpha \theta = 12.10^{-6} C^\circ$ pour l'acier des outillages.

II.10. Capacité thermique massique

La capacité thermique massique c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré Celsius ou d'un Kelvin la température de 1 Kg d'un corps sans modification de sa nature,

selon la formule :

$$Q = m C \Delta \theta$$

Q = Quantité de chaleur échangée (J)

m = Masse du corps (Kg)

C = Capacité thermique massique (J/Kg)

$\Delta \theta$ = Variation de température (C° ou K)

II.11. Puissance de chaleur

Sachant que Q est une énergie égale au produit de la puissance P (Watt) par temps t .

La capacité massique c est la fonction du matériau Acier : $C = 0.136 \text{ Wh/kg.k}$

$$P = mc \Delta \Theta / t \dots\dots\dots (II.10)$$

P = puissance watt [w].

Exemple

Donner la puissance électrique nécessaire pour chauffer 130 kg d'acier en 30 min de 20° à 160° ?

30 min = 0.5 h

$$\text{AN: } P = (130 \times 0.136 \times 140) / (0.5)$$

$$P = 4950.4 \text{ [w]}$$

II.12 Les conditions de moulage :

II.12.1 Masse de matière mise en œuvre

Masse de matière = (volume de l'objet \times masse volumique de la matière) + perte.

La perte doit être déterminée expérimentalement pour chaque moule et pour chaque matière.

II.12.2 Pression de moulage

$$\text{Pression de moulage} = \text{force total applique sur le moule} / \text{surface total} \dots\dots (II.11)$$

Surface totale de moulage = surface de 1 empreinte \times nombre d'empreintes.

II.12.3 Chauffage des moules et régulation de température

Les moules peuvent être chauffés par circulation de fluide (vapeur, eau, huile). La méthode de chauffage la plus simple et la mieux adaptée est **le chauffage par résistances électriques**. Les résistances électriques sont des colliers ou des éléments soit logés dans des plateaux chauffant, soit, mieux encore, incorporés dans le moule. Dans ce dernier cas, il est bon, pour diminuer les pertes de chaleur par conduction, d'isoler le moule des plateaux. Le chauffage de chaque partie du moule doit être contrôlé par une régulation de température efficace : régulation électronique commandée par des thermocouples logés dans les parties correspondantes du moule. Il est cependant nécessaire de vérifier régulièrement (au moins une fois par jour) la température des surfaces moulantes à l'aide de sels fusibles ou d'un pyromètre parfaitement étalonné.

II.12.4. Puissance nécessaire à la mise en température

La puissance théorique P_1 nécessaire à la mise en température d'un moule dépend de la capacité thermique massique du matériau constituant le moule ; elle est proportionnelle à sa masse et à l'élévation de température :

$$P_1 = c_1 m_1 (\Theta_2 - \Theta_1) / 3600 \dots\dots\dots (II.12)$$

Avec P_1 (w) puissance,

C_1 (J /kg.K) capacité thermique massique du moule ; pour l'acier $C_1 = 4.18 \times 10^2$

J/kg.k soit 0.1 cal/g.K ;

m_1 (kg) masse du moule,
 Θ_2 (°C) température de moulage,
 Θ_1 (°C) température initiale de moulage,
 3600s temps nécessaire pour chauffer le moule.

A la puissance théorique P_1 nécessaire à la mise en température, il convient d'ajouter la puissance P_2 nécessaire pour compenser les pertes par conduction, convection et rayonnement. Il est possible de diminuer les pertes par convection, conduction et rayonnement en entourant le moule de plaques isolantes (amiante).

La puissance $P_{2,1}$ dissipée par conduction est, donnée par la formule :

$$P_{2,1} = \lambda s (\Theta_2 - \Theta_1) \dots \dots \dots (II.13)$$

Avec $P_{2,1}$ (W) puissance.

λ (W/m.K) conductivité thermique,

Θ_2 (°C) température de moulage,

Θ_3 (°C) température à l'extrémité opposée des surfaces en contact avec le moule.

e (m) épaisseur de la paroi en contact avec le moule.

La puissance $P_{2,2}$ dissipée par convection est suivent la formule de Fishendem et O.A.Saunders :

$$P_{2,2} = (k \times 1.66 \times 4.18 \times 10^3 s (\Theta_2 - \Theta_1)) / 3600 \dots \dots \dots (II.14)$$

La puissance $P_{2,3}$ dissipée par rayonnement est suivant la loi de Stefan Boltzmann

$$: P_{2,3} = \sigma S (T_2^4 - T_1^4) \Theta \dots \dots \dots (II.15)$$

Avec $P_{2,3}$ (W) puissance.

σ constante de Stefan : $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

S (m²) surface rayonnante.

T_2 (K) température thermodynamique du moule : $T_2 = (273 + \Theta_2)$.

T_1 (K) température thermodynamique de l'atelier : $T_1 = (273 + \Theta_1)$.

α pouvoir émissif de la surface du moule : $\alpha = 0.8$.

la puissance P_2 totale dissipée est : $P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3} \dots \dots \dots (II.16)$

La puissance totale P nécessaire à la mise en température du moule est : $P = P_1 + P_2$

II.12.5 Puissance nécessaire au maintien de la température :

La puissance P_3 nécessaire au maintien de la température du moule, en régime de moulage, est égale à la somme des puissances suivantes :

$$P_3 = P_2 + P_{3,1} + P_{3,2} \dots \dots \dots (II.17)$$

Avec P_2 puissance nécessaire pour compenser les pertes par conduction, convection, rayonnement ;

$P_{3,1}$ = puissance dissipée par la matière à mouler ;

$P_{3,2}$ = puissance dissipée par l'ouverture du moule.

La puissance dissipée par la matière est :

$$P_{3,1} = C_2 m_2 (\Theta_2 - \Theta_1) / 3600 \dots \dots \dots (II.18)$$

Avec C_2 (J/kg.K) capacité thermique massique de la matière à mouler, dans le cas des phénoplastes

$C_2 = 1.46 \times 10^3 \text{ J/kg.k}$ soit 0.35 cal/g.K

m_2 = (kg) masse de l'objet moulé

Θ_2 = température du moule.

Θ_1 = température de la matière au moment de son introduction dans le moule.

n = nombre de moulées à l'heur.

La puissance dissipée par l'ouverture de moule est :

$$P_{3.2} = (C_1 m_1 \eta \Delta \Theta) / 3600 \dots\dots\dots (I.19)$$

C_1 capacité thermique massique du moule.

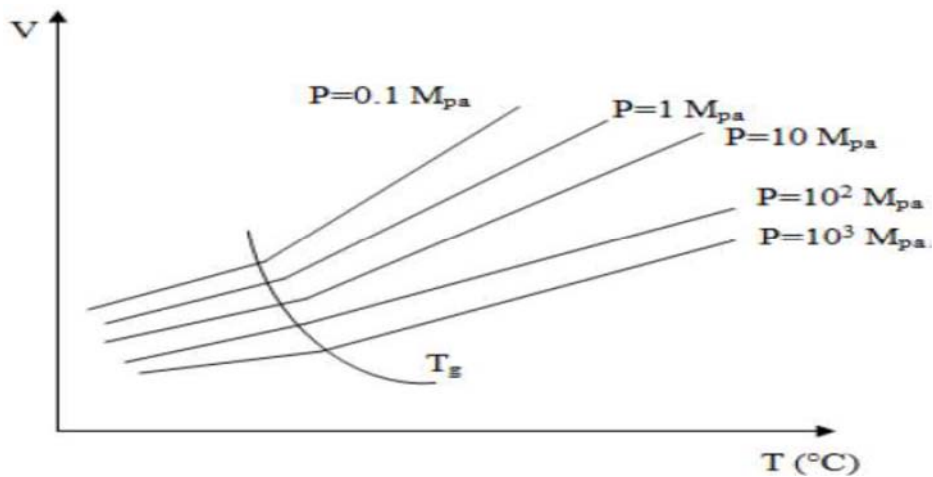
m_1 chute de température qui se produirait pendant l'ouverture s'il n'y avait pas compensation.

II.12.6. Polymères injectés

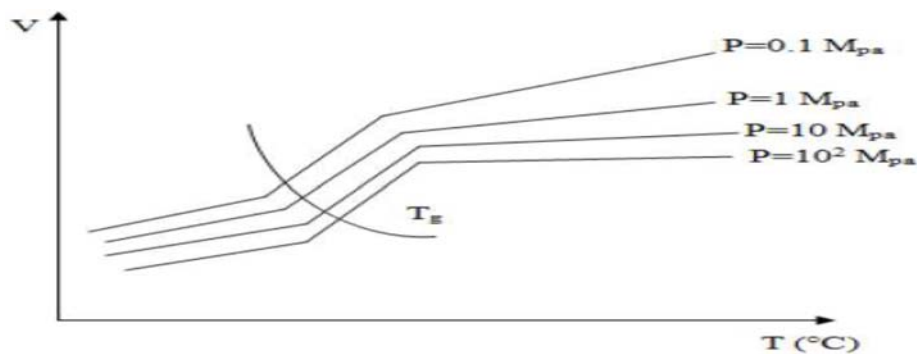
Polymères amorphes et semi cristallins L'observation des évolutions du volume spécifique des polymères lors du refroidissement en fonction de la pression fait apparaître deux types de comportements représentés sur les diagrammes PVT (Pression Volume Température) des (figures II.44 et II.45) :

les polymères amorphes restent à un état surfondu jusqu'à la température de transition vitreuse T_g qui marque le passage de l'état liquide à l'état solide vitreux amorphe.

les polymères semi cristallins restent surfondus jusqu'à la température de fusion puis subissent brutalement une diminution du volume lors de leur cristallisation à la température T_c



(Fig.II.44) Allure du diagramme PVT d'un polymère Amorphe [16]



(Fig.II.45) Allure du diagramme PVT d'un polymère semi cristallin [16]

L'état amorphe vitreux correspond à un état moléculaire désordonné avec une structure de liquide figé hors équilibre dans lequel les chaînes moléculaires n'ont pas pu se réarranger. Cet état peut être dû à un refroidissement trop rapide ou au polymère lui-même dont les chaînes sont complexes et ne peuvent se réorganiser.

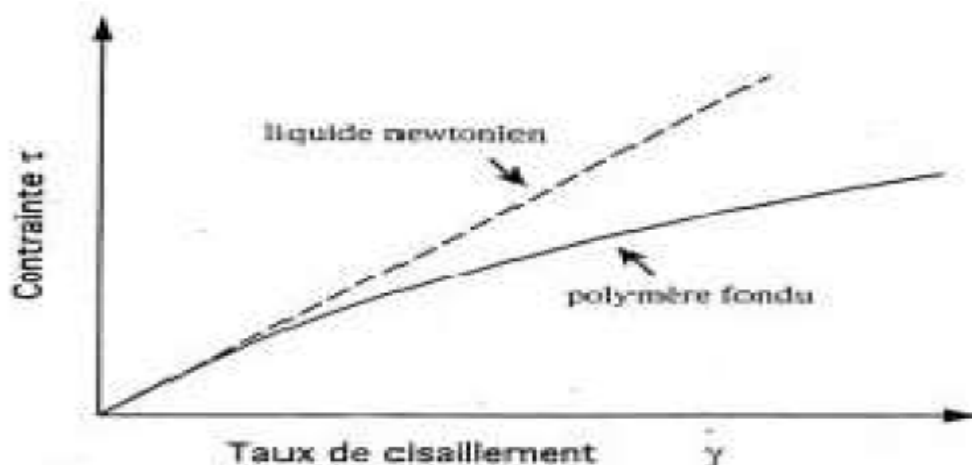
L'état cristallin correspond à un état ordonné et compact des chaînes moléculaires. Cet état est caractérisé par l'absence de transition vitreuse mais l'existence d'un point de fusion. La cristallisation n'est jamais complète en pratique (irrégularités structurales, lenteur du réarrangement, enchevêtrement des chaînes de la phase amorphe). Les polymères semi cristallins présentent donc un taux de cristallinité X qui est fonction de la vitesse de refroidissement et du polymère lui-même ($0 \leq X \leq \text{Max}$) et peuvent présenter un comportement amorphe si la vitesse de refroidissement est suffisamment élevée.

La cristallisation est une réaction exothermique et les polymères présentent une enthalpie de la fusion. De plus, les polymères semi cristallins présentent un retrait plus important (la compacité dans l'état cristallin ordonné est supérieure à celle de l'état amorphe). Rhéologie des polymères Les polymères à l'état fondu sont des fluides visqueux. La viscosité

caractérise le rapport entre contrainte et vitesse de déformation. En particulier, en cisaillement, on a $\sigma = \eta \dot{\gamma}$, où $\dot{\gamma}$ est la vitesse de cisaillement et σ la contrainte. La viscosité dépendra de la température, de la pression et de la vitesse de déformation. Pour décrire le comportement des polymères, différents modèles de comportement sont disponibles [12] :

- le comportement newtonien,
- le comportement non newtonien,
- le comportement viscoélastique.

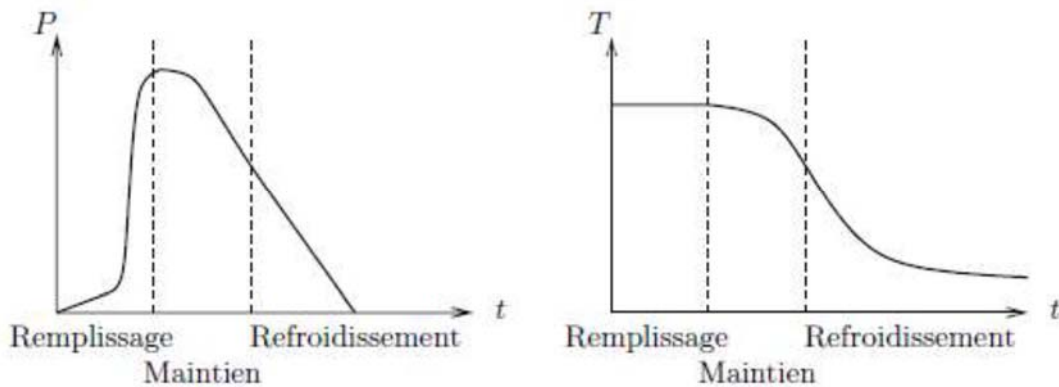
Pour un comportement newtonien, la dépendance de la viscosité avec la vitesse de déformation est négligée. La viscosité newtonienne est donc suffisante pour caractériser le polymère. Au contraire, lorsqu'un comportement non newtonien est considéré, on introduit un adoucissement de la contrainte lorsque le taux de cisaillement augmente (figure II.46).



(Fig.II.46) : Évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de taux de cisaillement pour des fluides newtoniens et non newtoniens (polymère fondu) [14]

Suivi de l'injection sur un diagramme PVT

Les évolutions de la pression et de la température moyennes dans le polymère au cours des différentes phases de l'injection sont représentées de manière schématique sur la (figure II.47)



(Fig.II.47) : Evolution de la pression moyenne et de la température moyenne dans le polymère au cours de l'injection. [13]

II.12.7 Régime d'écoulement:

Afin de savoir le d'écoulement dans les canaux d'alimentation en applique l'expérience de Reynolds :

$$Re = V d / \nu \dots\dots\dots (II.20)$$

Re : Nombre de Reynolds (sans unité)

V : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (mm/s)

d : Diamètre de la conduite ou largeur de la buse en (mm).

ν : Viscosité cinématique du fluide (m²/s).

Si $Re < 2000$ l'écoulement est laminaire

Si $Re > 2000$ e R l'écoulement est turbulent :

Lisse si $2000 < Re < 100000$

Rugueux si $Re > 100000$

II.12.8 Temps de cycle

Une formule généralement admise relie, pour les matières thermoplastiques renforcées de fibres de verre, le temps total de cycle t (en secondes) à l'épaisseur e (en millimètres) de la pièce :

[25]

$$t \approx 2.5 e^2 \dots\dots\dots (II.21)$$

II.12.9 Poids de la pièce

Le Poids de la pièce est fonction de la masse de la pièce sur la masse volumique. On peut déterminer le poids de la pièce matière plastique

$$V' : \text{volume pièce [cm}^3\text{]} = (\text{masse de la pièce (g)}) / (\text{masse volumique [g/cm}^3\text{]}) \dots\dots\dots (II.22)$$

$$V' = m' / \rho' = m / \rho \Rightarrow m = v \rho \dots\dots\dots (II.23)$$

II.13. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons étudié la presse d'injection avec indication de ses composants et son mode de fonctionnement. Nous avons découvert la procédure de fabrication des pièces plastiques, en notant le déroulement du cycle d'injection. Dans le prochain chapitre de ce mémoire on va suivre comment fabriquer une pièce par injection thermoplastique par une presse d'injection.

CHAPITRE III

CONCEPTION D'UN MOULE D'INJECTION

III.1. Définition :

Pour vos besoins personnels ou ceux de votre entreprise, les gobelets en plastique sont la réception causant beaucoup de dégât à notre nature bien que celle-ci soit déjà bien endommagée.



Pour ce faire, nous vous proposons aujourd'hui des alternatives pour utiliser des récipients moins polluants mais tout aussi pratiques.

III.1.1. Les types de gobelets en plastique utilisé :

Notre premier conseil sera d'opter pour l'utilisation d'une gourde pour vous désaltérer durant la journée. Ainsi, vous diminuez la consommation de plastique.

Aussi, vous pouvez utiliser à la place d'un gobelet en plastique jetable, un gobelet de type réutilisable. Ce sont en général, les gobelets distribués durant le festival et les foires.

Le gobelet avec couvercle : idéal pour y contenir votre café, thé ou toute autre boisson chaude. Il convient aussi aux milkshakes, cocktail ou autre...etc.

Pour faire un bon geste auprès de notre nature, il existe différentes idées de recyclages. Parmi elles, vous pouvez créer un lustre à l'aide de gobelets en plastiques : facile et très simple à réaliser. Vous pouvez en faire un lustre pour la chambre de vos enfant ou autre.

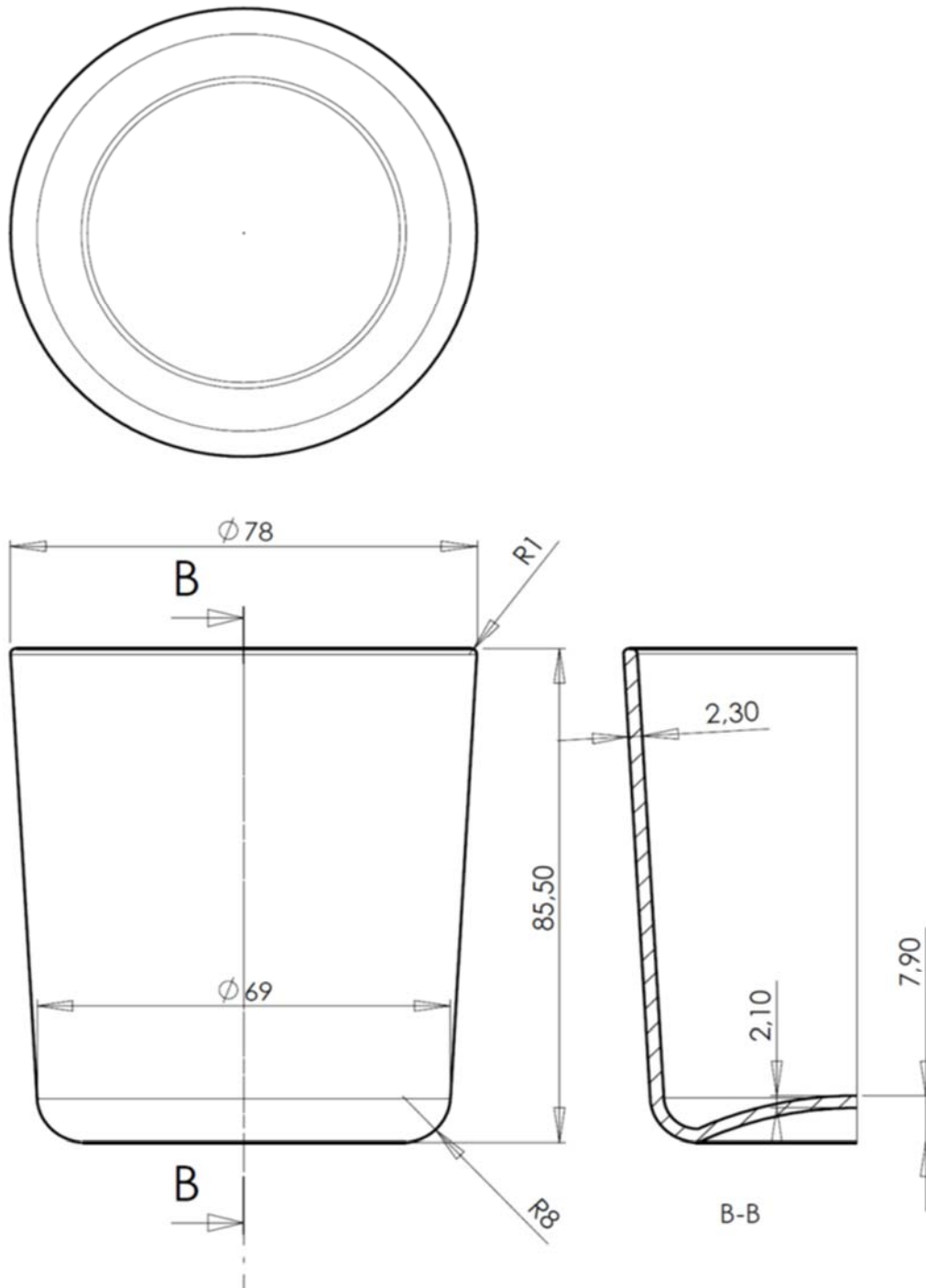
III.1.2.Dessin de la pièce

fig.(III.1.2) représentations la pièce (goblote) non contractuelle

III.1.3. Dossier technique :

. Présentation

le produit S-injection est spécialisée dans l'injection de pièces plastiques.
Elle produit des gobelets en plastique **non jetables** en polypropylène

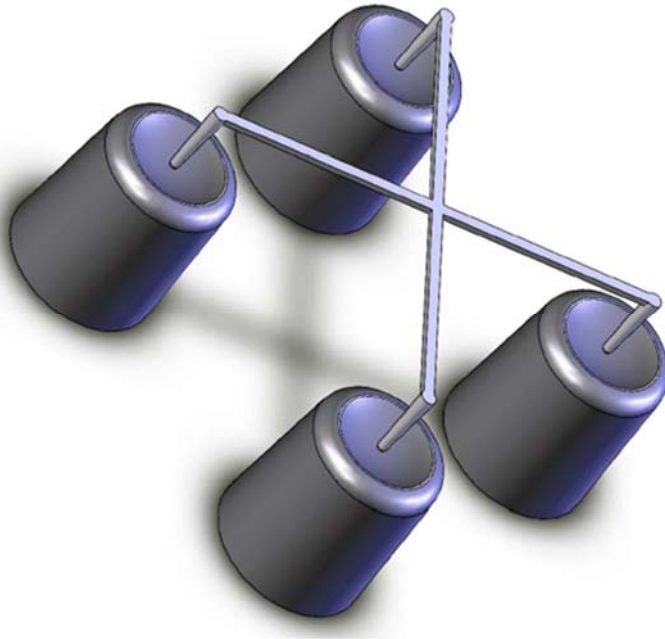


fig.(III.6.1) Vue de la moulée Buse plongante dans le moule : pas de carotte.

Échelle des représentations non contractuelle

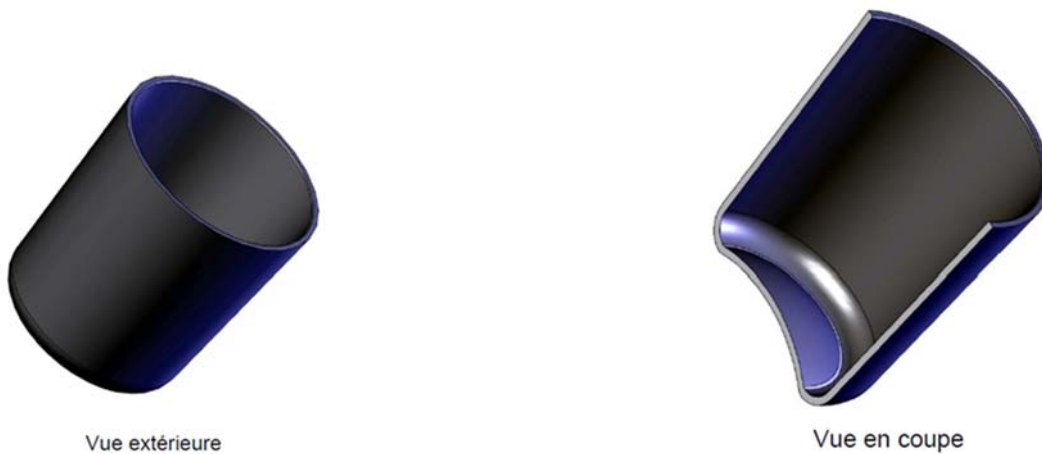


fig.(III.6.1))vue de goblote

III.1.4. Définition la matière

1. a/ Polypropylène

Le **polypropylène** (ou **polypropène**) isotactique, de sigle PP (ou PPI) et de formule chimique $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$, est un polymère thermoplastique semi-cristallin de grande consommation.

Le polypropylène isotactique est une polyoléfine résultant de la polymérisation coordinative des monomères propylène $[(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3)]$ en présence de catalyseurs, suivant principalement la catalyse de Ziegler-Natta

1. b/ Propriétés physiques

- Module de Young : 1,1 à 1,6 GPa
- Retrait : 1 à 2,5 %

Le polypropylène de grade « injection » est très facilement recyclable ; le PP de grade « film » est au contraire beaucoup plus délicat à recycler, surtout s'il est imprimé.

Le polypropylène est translucide à opaque, hydrophobe, dur, semi-rigide et très résistant à l'abrasion.

Pour augmenter ses propriétés mécaniques, il est courant qu'il soit chargé en fibre de verre, à hauteur de 10 à 30 % en général.

Le polypropylène expansé, de sigle EPP en anglais ou PP-E selon la norme EN ISO 1043-1, est une mousse blanche ressemblant au polystyrène expansé, mais avec une mémoire de forme lui permettant de se déformer sans casser et de conserver sa structure.

Le propylène peut former des homopolymères (polypropylène), des copolymères statistiques ou des copolymères « bloc ». Le comonomère le plus utilisé est l'éthylène pour donner des polyoléfines élastomères comme l'éthylène-propylène (EPR ou EPM) et l'éthylène-propylène-diène monomère (EPDM).

1.c/Applications:

On trouve de nombreuses pièces moulées en polypropylène pour la construction automobile, notamment les pare-chocs, les tableaux de bord, l'habillage de l'habitacle et les réservoirs d'essence et de liquide de frein. Le polypropylène est souvent utilisé pour les emballages alimentaires pour sa résistance à la graisse (ex. : emballages de beurre) et son aspect brillant. Il est également utilisé pour la fabrication de tissus d'ameublement, de vêtements professionnels jetables (combinaisons de peinture, charlottes, masques chirurgicaux, etc.), de sacs tissés à haute résistance, de géotextiles et de géomembranes ; on le trouve aussi sous forme de fibres dans les cordages et les tapis synthétiques. Des pailles à boire sont également fabriquées en polypropylène.

En longueur nominale de 6 à 18 mm, la fibre de polypropylène est l'adjuvant idéal au béton pour diminuer le retrait plastique, les fissurations et les lézardes, et augmenter les propriétés de surface. Les fibres ne remplacent pas le renforcement structurel traditionnel en acier ou les procédés habituels de bonne prise du ciment, mais il est très souvent possible de remplacer les treillis par ces fibres.

Plusieurs pays ont émis des billets de banque en polypropylène, dont le Canada, Singapour, l'Australie, le Mexique et Israël.

Pour l'alléger tout en renforçant sa rigidité, il peut être moulé comme du carton ondulé ; appelé polypropylène alvéolaire (PPA). Il peut aussi avoir une structure en nid d'abeille (*honeycomb* en anglais).

Le polypropylène expansé est utilisé en aéromodélisme pour construire les petits modèles (moins d'un mètre d'envergure). Grâce à ses propriétés mécaniques (légèreté, souplesse et mémoire de forme), il permet de créer des modèles très résistants aux chocs, et faciles à réparer (collage rapide à la colle cyanoacrylate).

Dans les domaines de l'électrotechnique et de l'électronique, le polypropylène a de nombreuses applications. Par exemple comme isolant dans les transformateurs, pour les gaines des fils et câbles et en tant que diélectrique de condensateurs à films plastiques et de condensateurs de puissance.

1.d/Avantages et inconvénients :

Le polypropylène présente de nombreux avantages : il est bon marché, alimentaire (inodore et non toxique), indéchirable, très résistant à la fatigue et à la flexion (fabrication de charnières), très peu dense, chimiquement inerte, stérilisable et recyclable. C'est de plus un excellent isolant électrique, qui est une alternative à l'utilisation du PVC pour la fabrication de câbles à faible fumée.

Par contre, il est fragile (cassant) à basse température (car sa température de transition vitreuse (T_v) est proche de la température ambiante), sensible aux UV, moins résistant à l'oxydation que le polyéthylène et difficile à coller.

La résilience du polypropylène peut être améliorée en malaxant du PPI avec les élastomères EPR ou EPDM.

Sa production en masse est source d'impacts environnementaux et de consommation de pétrole, ainsi que d'émission de gaz à effet de serre. Son impression ou certains additifs (fibres, ignifugeants — les métaux lourds sont interdits depuis quelques années) peuvent rendre son recyclage difficile ou impossible de manière rentable.

Les progrès de l'écoconception dans la plasturgie pourraient faciliter le tri et le recyclage de ce matériau.

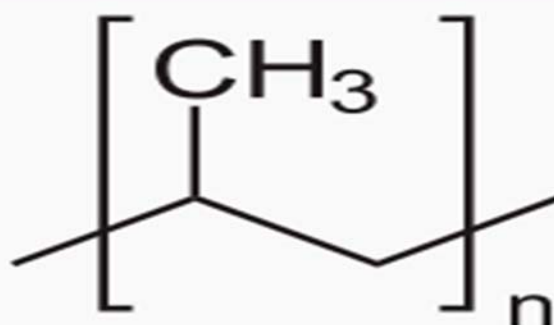
1.e/Commerce

En 2014, la France était exportatrice de polypropylène (homo- et copolymère).

Type	Import	Export
Copolymère	26 819	42 455
Homopolymère	33 265	44 800

En 2014, le prix moyen observé de l'homopolymère est de 1 300 €/t

Polypropylène isotactique



Identification

Nom UICPA	poly(1-méthyléthylène)
Synonymes	polypropène isotactique, sigle PP (ou PPI)
N° CAS	9003-07-0
N° ECHA	100.117.813

Propriétés chimiques

Formule brute $(\text{C}_3\text{H}_6)_n$

Propriétés physiques

T° transition vitreuse	$\sim -10 \text{ }^\circ\text{C}$
T° fusion	145 à 175 $^\circ\text{C}$
Paramètre de solubilité δ	18,8 $\text{MPa}^{1/2}$ (25 $^\circ\text{C}$) ¹ ; 16,8 à 18,8 $\text{J}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-3/2}$
Masse volumique	$\sim 0,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Thermochimie

C_p

[+]

Propriétés électroniques	
Constante diélectrique	2,3 (1 kHz, 25 °C) 2,3 (1 MHz, 25 °C) 2,3 (1 GHz, 25 °C) ⁴
Cristallographie	
Système cristallin	hélices ; système monoclinique (principalement)
Propriétés optiques	
Indice de réfraction	n_D^{20} 1,49 ⁵
Précautions	
SIMDUT ⁷	
Produit non contrôlé	
	[+]
Classification du CIRC	
Groupe 3 : Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme ⁶	
Écotoxicologie	
DL ₅₀	>99 000 mg/kg (rat, i.v.) >110 000 mg/kg (rat, i.p.) ⁸

1.f/Additionnel Propretés :

Température injection matière : 230 °C

Pression maximale admissible par la matière = 100 MPa (1000 bar)

Diffusivité thermique (a) : $6,2 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

III-2. Définition de moule :

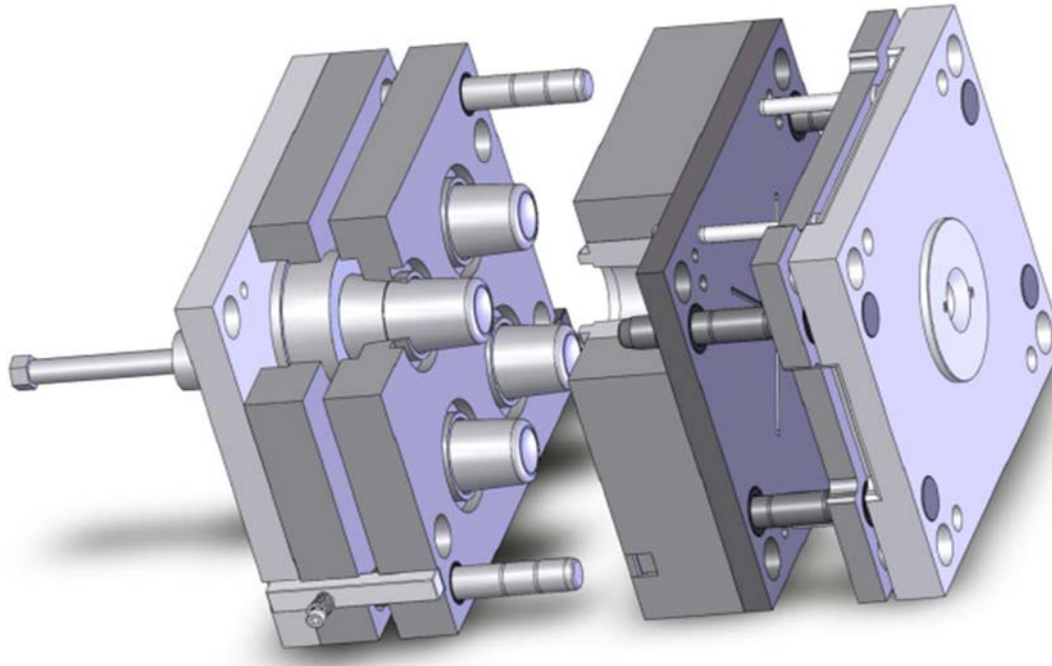


fig. (III-1) le moule 3D

A/: Dimensions du moule :

- Épaisseur : 340 mm ;
- Largeur : 445 mm ;
- Hauteur : 395 mm.

B/: Masse du moule :

- 478 kg.

C/: Type de queue d'éjection :

- Non-attelée (ressort).

D/: Type de régulation :

- Thermorégulateur (eau) ;
- Outillage quatre empreintes ;
- Moule trois plaques ;
- Cadence normale ;
- Éjection : poussée avec rappel par ressort ;

- Masse d'un gobelet : 50,3 g ;
- Volume total des pièces et des canaux : 237,35 cm³ ;
- Pertes de charge estimées lors de l'écoulement dans les empreintes : 50 %.

E/: Température de régulation :

- Température du moule, côté injection : 40 °C ;
- Température du moule, côté noyau : 40 °C.

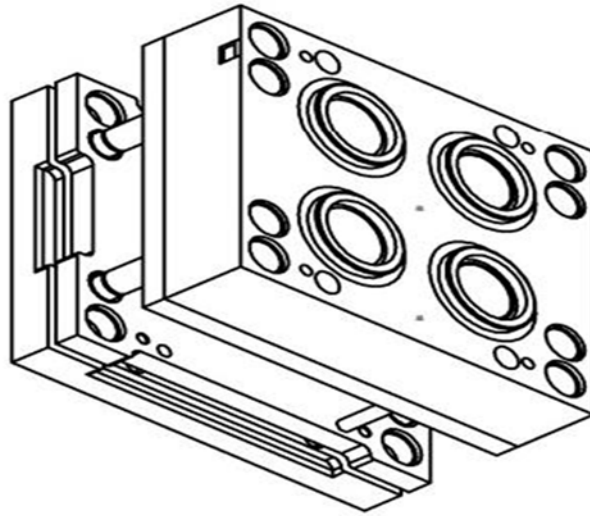
III.2 Dessin de définition des différents éléments du moule :

fig.(III.2) partie mobile

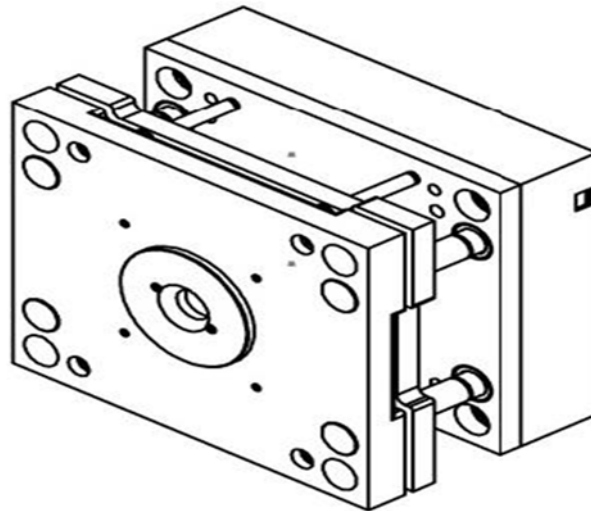
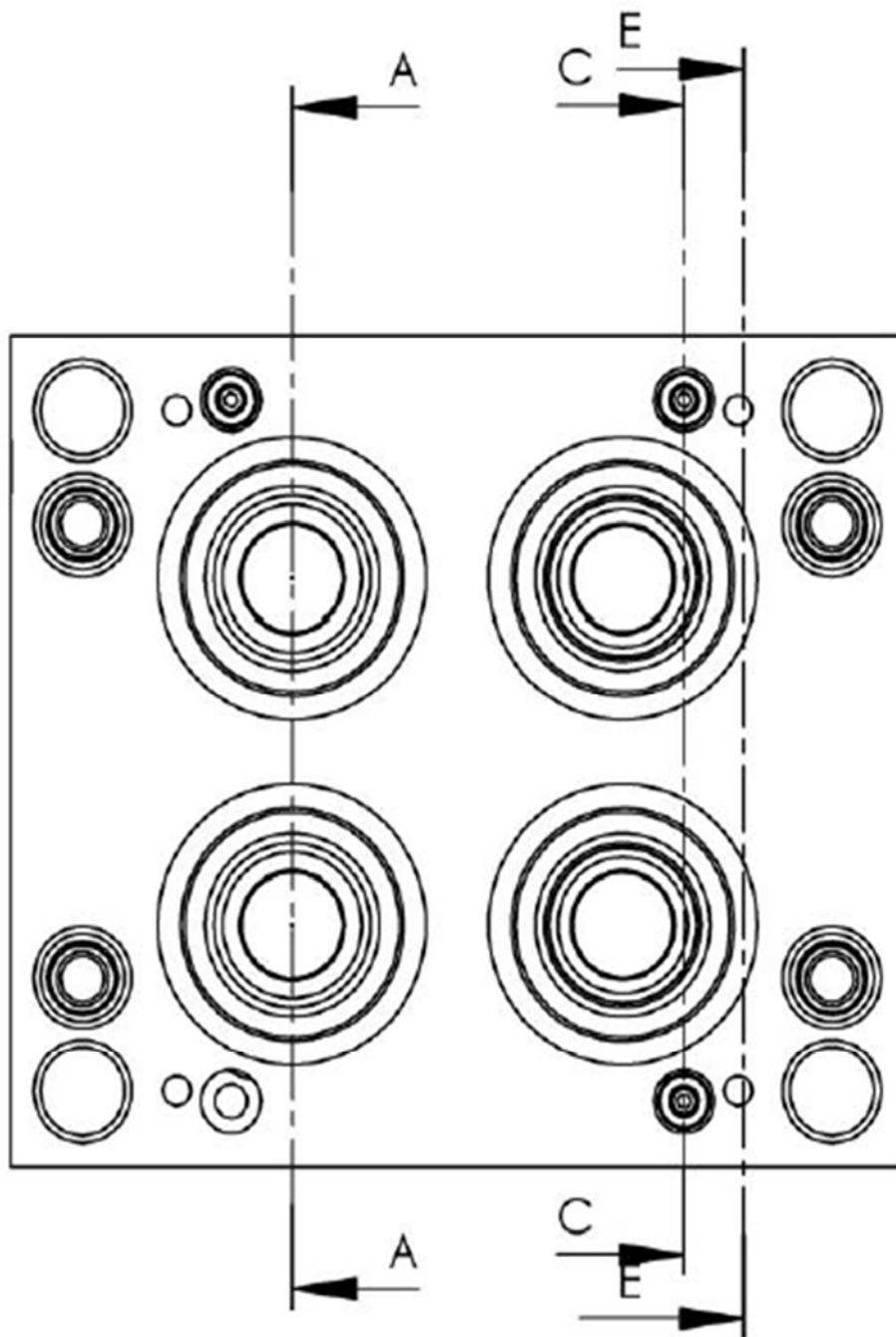


fig (III.3) partie fixe

III-3/ dessin en coupe

fig(III.3) vu de dessous de la moule en (A-C-E)

III-3-a/coupe (A-A):

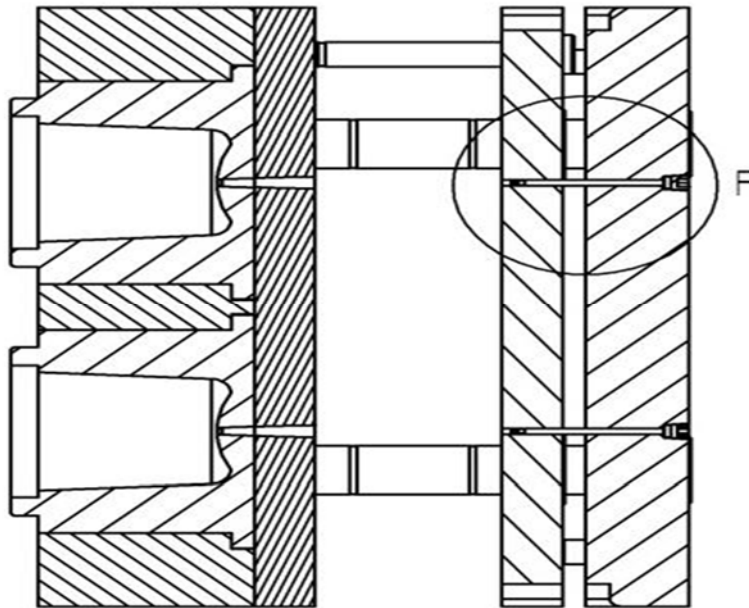
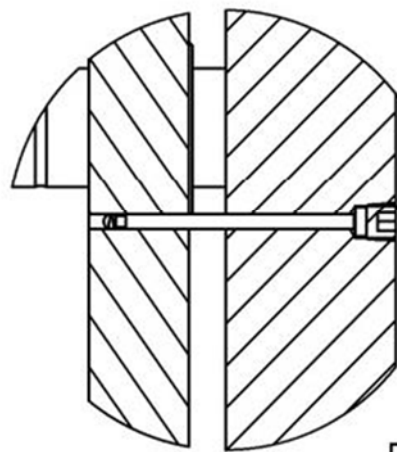
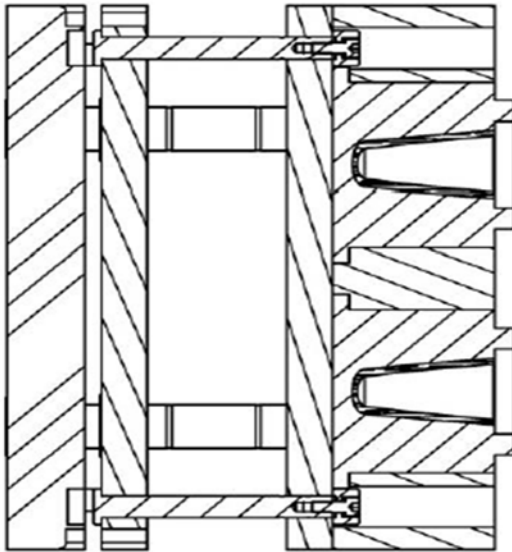
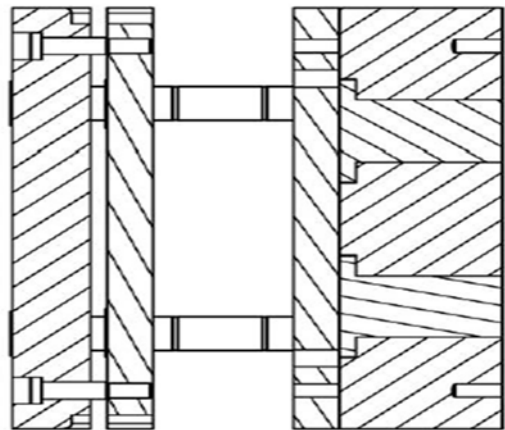


fig.(III.4) coupe (A-A)



DÉTAIL F
EHELLE 2 : 5

fig.(III.5) sous en coupe (F-F):

III-3.b/coupe(C-C)**fig.(III.6) Coupe (C-C)****III.3 c.coupe (E-E)****fig.(III.7). Coupe (E-E)**

III.4.calcul thermo physique des canaux de refroidissement :

comme les orifices d injection sont des orifices standards dépendants surtout de la machine d injection .

nous avons choisi de calculer les orifices de refroidissement qui tiennent surtout compte de matière et de ses caractéristiques thermiques

le calcul consiste a déterminer les points suivants

III.4.1.détermination du cycle optimal de moulage

$$t_{\text{cycle}} = A + C_v + t_r + B$$

A: temps de remplissage de la moulée

Cv: cycle a vide de la presse

B: autres de temps technologique (éjection, dévissage ,robot...)

t_r: temps de refroidissement en secondes

$$t_r = \frac{s^2}{\alpha \pi^2} \times \ln \frac{8}{\pi^2} \times (T_i - T_M) / (T_m - T_M)$$

s = épaisseur de la pièce en mm

α = diffusivités thermique du polymère (mm²/s)

T_i = température d injection

T_M =température de la pièce au démoulage (en pratique T_M+20°)

III.4.2. Détermination de la quantité moulée par heure

$$p = P_m \cdot 3600 / T$$

P: point total de la moulée par heure (Kg/h)

P_m: point de la moulée (Kg)

T: temps de cycle (s)

III.4.3. détermination de la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le polymère

$$Q = P (H_i - H_m)$$

Q: quantité de chaleur à évacuer (Kcal /h)

P: poids total moulé par heure

H_i : enthalpie du polymère a la température d injection (Kcal /Kg)

Hm : enthalpie du polymère a la température de moulage (Kcal/Kg)

voir courbe

III.4.4. détermination de la quantité d eau nécessaire à posséder pour garantir le cycle :

$$D = Q / \rho \Delta t$$

D: débits du fluide nécessaire (1/h)

Q :quantité totale de chaleur à évacuer

ρ :masse spécifique du fluide (1Kg/ l pour l eau)

Δt : écart de température entre et sortie du fluide

$$\Delta t = 2^\circ \text{C pour pièces courante}$$

$$\Delta t = 1^\circ \text{C maxi pour pièces technique}$$

III.4.5. pour chaque circuit affecter la quantité de fluide :

$$D1 = D \cdot S1 / St \quad (\text{débit affecter au prorata de la surface de la pièce})$$

D1 : quantité de fluide affecter au circuit n°1 (par exemple) en 1/h

D : quantité de fluide total

St : surface total de la pièce (poinçon +matrice)

S1 : partie de la surface de la pièce refroidie par le n°1

III.4.6. vérification de la vitesse du fluide :

A partir du projet du moule et du diamètre possible du circuit de refroidissement ; il faut vérifier que le débit du fluide sera bien turbulent (nombre de Reynolds supérieur à 4000)

$$V = \{ (D1 \cdot 4) / (3600 \cdot \emptyset^2 \pi \cdot 1000) \} > 0.4 \text{ m/s}$$

v : vitesse du fluide en m/s (doit être > 0.4)

D1: quantité du fluide devant traverser le canal n°1/h

\emptyset : diamètre du canal en mètre

① si $V > 0.4 \text{ m/s}$: le circuit est correct

② si $V < 0.4 \text{ m/s}$: recommencer avec un diamètre de canal plus faible

③ si $V > 2 \text{ m/s}$: vitesse importante , essayer un diamètre plus grand

RRQ:

la température générale d'entrée sera fixée comme suivant:

$$T_{\text{entrée}} = T_{\text{empreinte}} - 15^{\circ} \text{C}$$

III.5. APPLICATION NUMIRIQUE :

II.5.1. le temps de refroidissement:

$$Tr = \left\{ \frac{(2.30)^2}{(6.2 \times 10^{-8}) \times (3.14)^2} \right\} \times \ln \left\{ \frac{8}{(3.14)^2} \right\} \times \left\{ \frac{(230 - 40)}{(60 - 40)} \right\}$$

$$d' \text{ ou } : Tr : 35 \text{ s}$$

donc nous obtenons :

$$\text{cycle} = 0.010 + 0.66 + 35 + 60 = 95.67 \text{ s}$$

$$d' \text{ ou cycle} = 1.59 \text{ min}$$

III.5.2. la quantité moulée par heure :

$$P = 0.0503 \times 3600 / 95.67 = 1.89 \text{ Kg/h}$$

$$D' \text{ ou } p = 1.89 \text{ Kg/h}$$

III.5.3. la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le polymère :

$$Q = 1.89 \times (120) = 226.8 \text{ Kcal/h}$$

$$D' \text{ ou } : 226.8 \text{ Kcal/h}$$

III.5. 4. le débit d' eau nécessaire à posséder pour garantir le cycle :

$$D = 226.8 / (1 \times 2) = 113.4 \text{ l/h}$$

III.5.5. affectation de la quantité d'eau pour chaque circuit :

$$st = 19757.93 \text{ mm}^2$$

$$\text{surface de la pièce refroidie par le canal n}^{\circ} 1 \quad S1 = 9987.89 \text{ mm}^2$$

$$= 113.4 \times 9987.89 / 19757.93$$

$$D1 = 57.32 \text{ L/h}$$

III.5.6. vérification de la vitesse :

$$v = (57.32 \times 4) / \{ (3600) \times (0.01)^2 \times (1000) \}$$

la vitesse de fluide

$$v = 0.63 \text{ m/s}$$

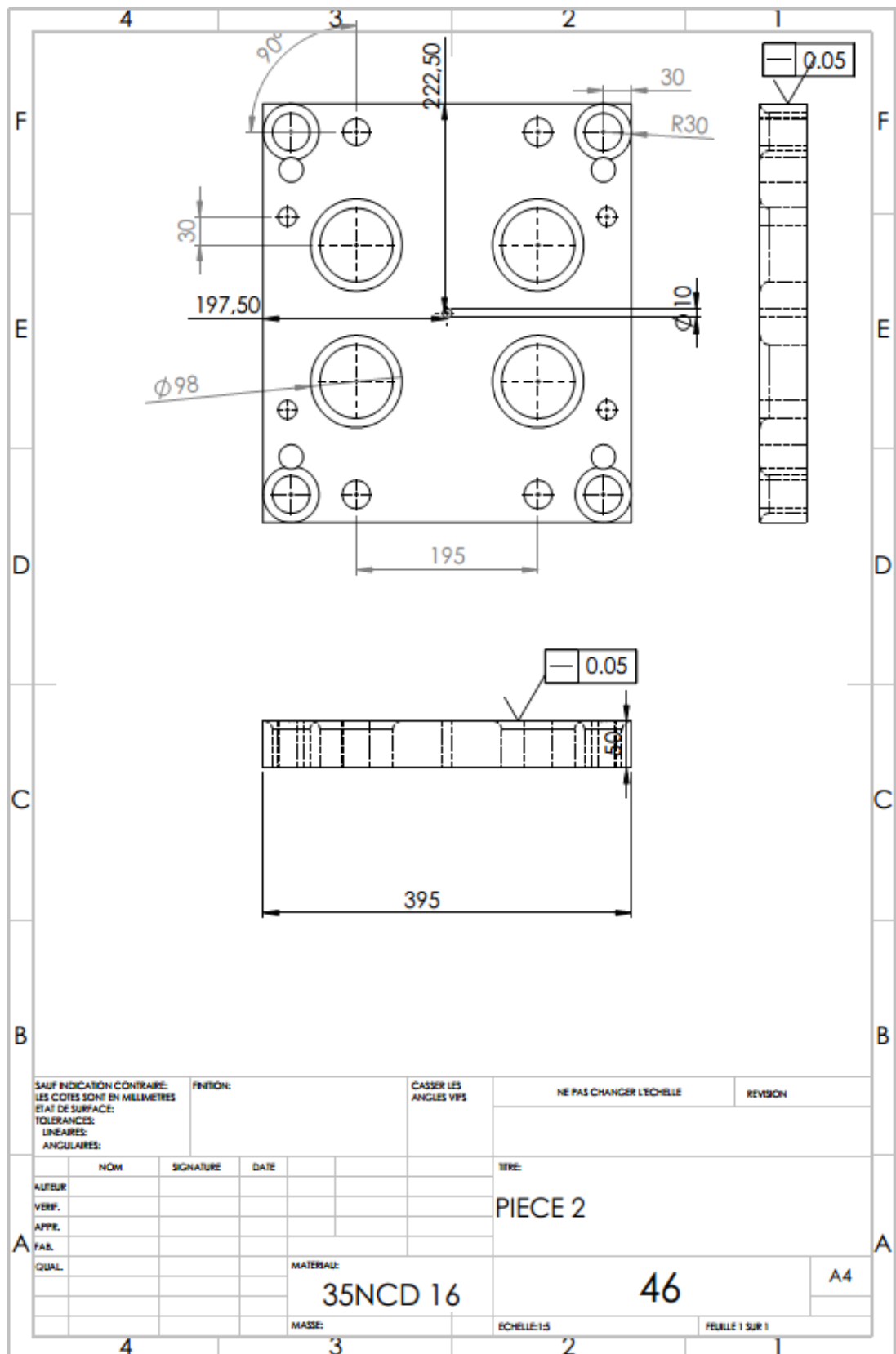
$$D' \text{ ou } = 0.63 \text{ m/s}$$

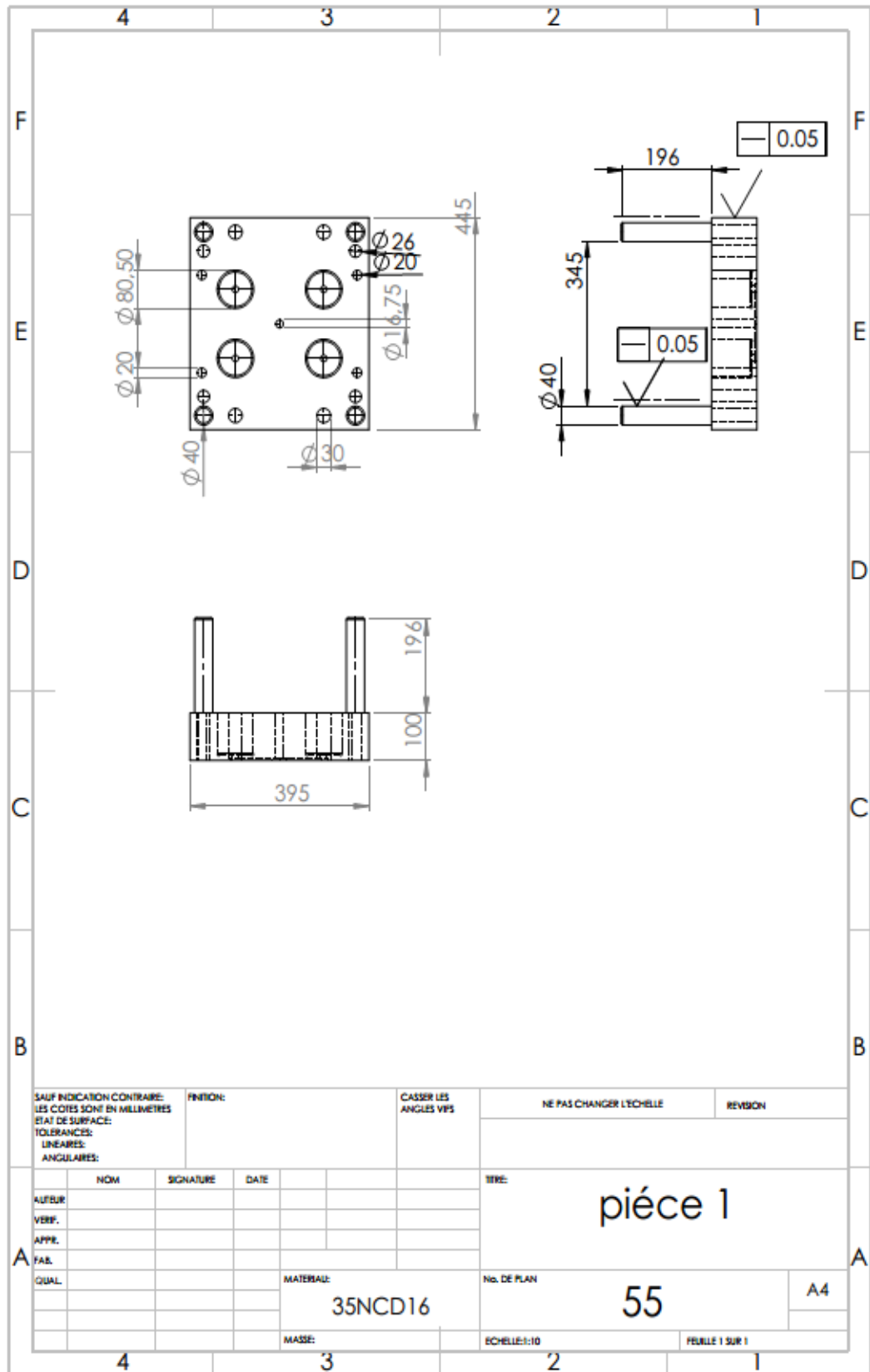
_ si $V > 0.4$ m/s le circuit est correct

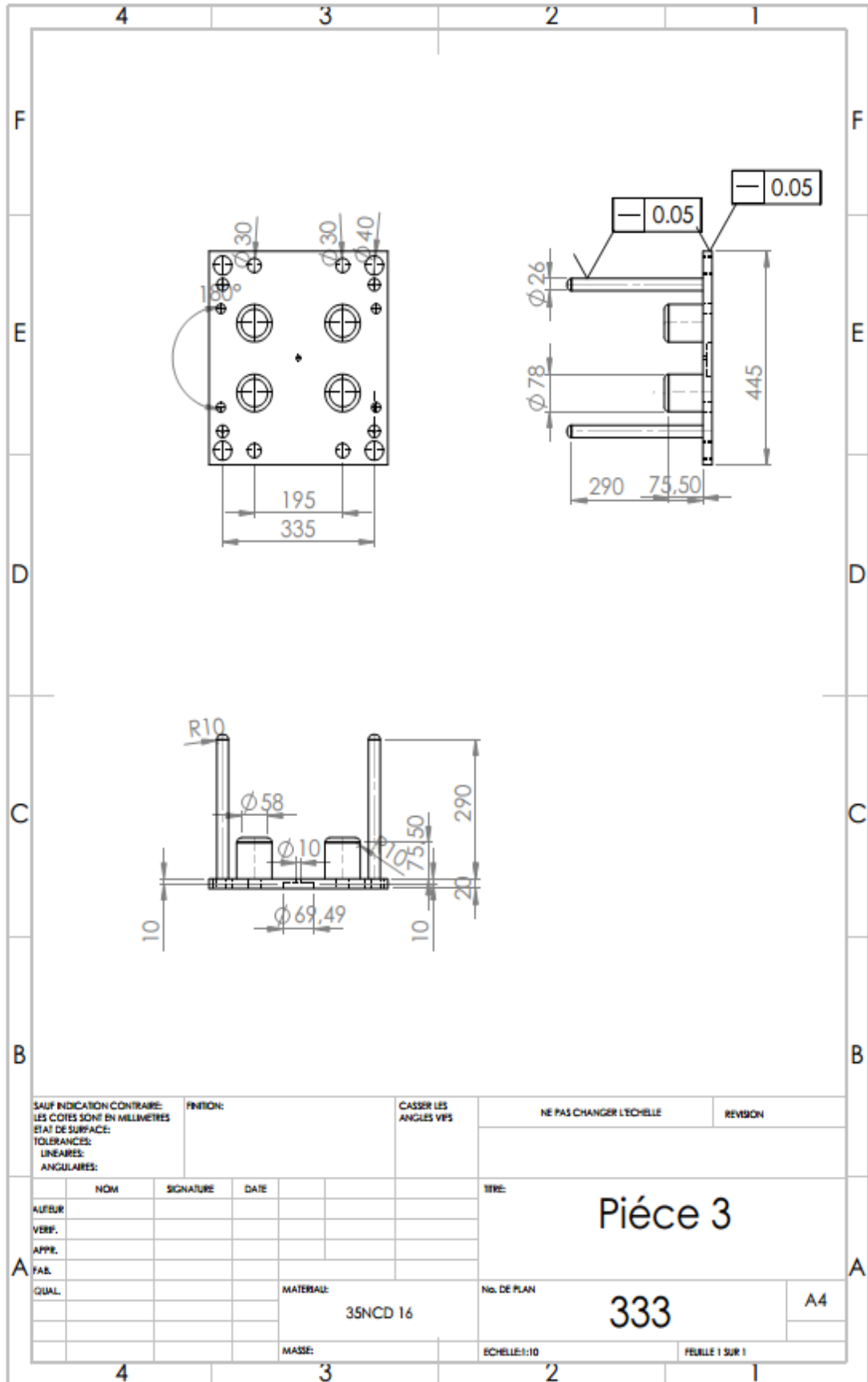
$$V = 0.63 > 0.4$$

*la température générale d'entrée sera fixée comme suivant :

$$T_{\text{entrée}} = T_{\text{empreinte}} - 20^{\circ}\text{C} ; \text{c'est à dire } T_{\text{entrée}} = 150 - 20 = 135^{\circ}\text{C}$$







Conclusion générale et perspectives

La maîtrise des techniques de production et le contrôle des systèmes de production, L'optimisation du coût ont fait l'objet de nombreux travaux. Cependant, il ne suffit pas de Baisser les coûts de production mais il faut élaborer des produits de qualité et un outillage Performant pour une bonne production répondant aux critères qualité-prix. Le moule d'injection pièces en matière plastique fait partie de ces outils qui nécessitent un soin très particulier lors de sa conception ainsi que dans la phase de sa réalisation. Actuellement le marché algérien impose de plus en plus des variantes à de produits dont la qualité et la durée de vie ne fait que croître afin de pouvoir résister à la concurrence nationale et internationale avec l'ouverture du marché.

Ce travail avait pour objectif d'étudier la faisabilité de produire des pièces en matière plastique par le procédé d'injection.

La démarche de la recherche de cette étude s'est articulée autour de trois axes principaux : Premièrement, une étude bibliographique sur les matières plastiques en générale et particulier sur les polymères utilisés pour des applications en injection des pièces de type Goblet.

Deuxièmement une étude approfondie sur les machines d'injection des matières plastiques et leur cycle de travail.

Et enfin, nous avons conçu un moule spécifique pour notre pièce de type Goblet en tenant compte des données de la machine d'injection choisie Nous avons été aidés en matière de dessin par l'utilisation de solid works,

Bibliographie

Bibliographie

[1] **Julien HUMBERT**: « Conception, élaboration et production d'agrocomposite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.

[2] **Thomas Giroud**: « Mesure et calcul des contraintes résiduelles dans les pièces injectées en thermoplastiques avec et sans fibres de renfort ». Mécanique [physics.med-ph]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001. Français.

[3] **HEDDAR Djamel Eddine**: « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2014.

[4] **DJABALLAH Abdelmalek**: « Contribution à l'étude de la phase post remplissage du moulage par injection », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.

[5] **HADEF Saddek**: « Étude de l'influence des conditions d'injection sur la qualité des pièces injectées en matière plastique », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.

[6] **AHMED HAMADI**: « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003.

[7] **E. Mathey**: « Optimisation numérique du refroidissement des moules d'injection de thermoplastiques basée sur la simulation des transferts thermiques par la méthode des éléments frontières », Thèse de doctorat, l'Université Toulouse III, 2004

[8] **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed** : «Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection», mémoire master professionnel, département de mécanique, UKM Ouargla, 2013

[9] **J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, and M. Piperaud**: Précis de Matières plastiques : Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation. AFNOR, 1996, FRA

[10] **Technique de l'ingénieur** : «Injection des thermoplastiques : les presses» **Laszlo MUZSNAY**, Doc (A 3690)

[11] **R.Nunn** : « The reciprocating screws process », injection Molding Handbook, 1986

[12] **G. Menges and P. Mohren** : How to make injection molds. Hanser Publishers, 1993.

[13] Technique de l'ingénieur : «Injection des thermoplastiques : Les moules» *par Michel CHATAIN et Alexandre DOBRACZYNSKI*, Doc (A3680)

[14] J-F. Agassant, P. Avenas, J-P. Sergent, B. Vergnes, and M. Vincent : « La mise en forme des matières plastiques». Technique & Documentation, 3eme édition, 1996.

[15] Trotignon.P.J Et Dobraczynski.A – Piperaud.M : «Matières Plastiques: Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation». Editions Nathan, Paris 1996

[16] P. Devos : « L'injection sous haute pression des polymères thermoplastiques». Cours Ecole des Mines d'Albi, 2000

